

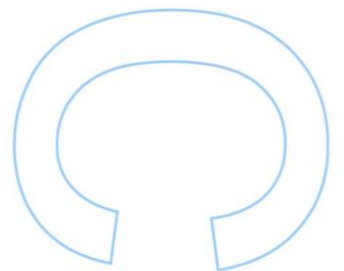
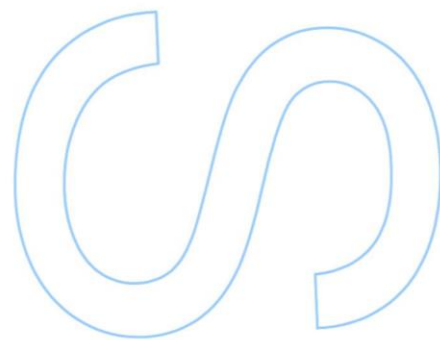
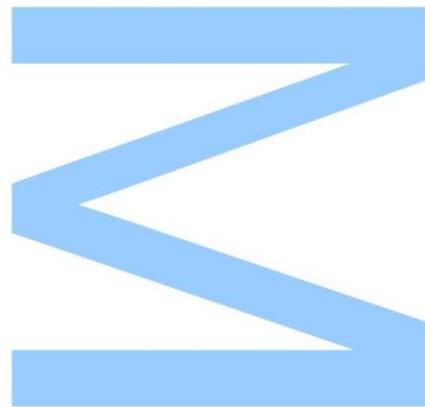
Modelação fenológica da videira (*Vitis vinifera* L.). Integração bioclimática, genética e adaptação espaço temporal

Nuno Miguel dos Santos Góis

Mestrado em Engenharia Agronómica
Departamento de Gestão e Ordenamento do Território
2015

Orientador

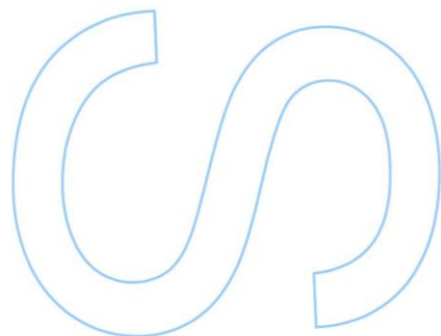
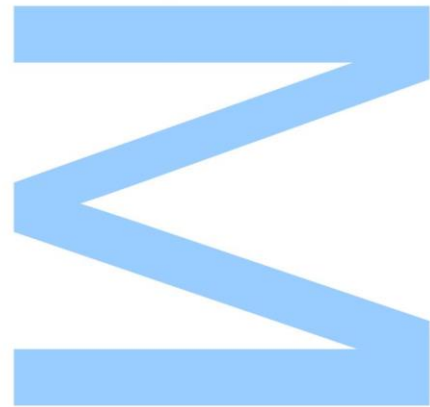
Mário Manuel de Miranda Furtado Campos Cunha, Professor Auxiliar
da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.





Todas as correções determinadas
pelo júri, e só essas, foram efetuadas.
O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



“Success is not final, failure is not fatal: it is the courage to continue that counts.”

Winston S. Churchill

Agradecimentos

Aos meus Pais, por terem sempre acreditado e por nunca terem desistido de mim, por me ensinarem a importância dos sacrifícios e por tudo terem feito para que eu pudesse seguir os meus sonhos.

Ao Professor Mário Cunha, por ser uma inspiração e um modelo, por me ter incentivado e apoiado desde o início do meu percurso no mundo da Agronomia, e acima de tudo por ter sido um orientador irrepreensível.

À Joana Neto, que tem estado sempre ao meu lado e por estar presente nos bons e nos maus momentos, pela paciência e pelo Amor. Por ser a maior entusiasta do meu trabalho e pela confiança inabalável.

Ao Paulo Oliveira, porque há amigos que são a Família que temos o prazer de escolher. À Ana Cardoso; à Ana Cristina Gomes; à Ana Lamas, à Ana Santo, à Cecília Oliveira, ao Diogo Silveira, à Joana Carneiro, ao Joel Rocha, ao José Costa, à Sónia Magalhães, à Maria Ferreira, e à Rafaela Almeida pela amizade e pelo apoio, por estarem lá sempre que necessário.

À Maria Cruz-Blanco pelo seu contributo na implementação dos modelos desenvolvidos num Sistema de Informação Geográfica e à Professora Isabelle Chuine pelos prontos esclarecimentos e no apoio ao domínio da *Phenology Modelling Platform*.

Grupo Symington na pessoa do Engenheiro Fernando Alves pela cedência dos dados fenológicos e dados climáticos referentes à quinta da Cavadinha (Grupo Symington).

Doutores Engenheiros Eira Dias e José Silvestre da Estação Vitivinícola Nacional, Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV) pela cedência dos estados fenológicos e dados climáticos para a região de Torres Vedras.

Subvidouro, na pessoa do Engenheiro João Pedro pela cedência dos dados fenológicos para a região do Douro.

Comissão de Viticultura da região dos vinhos verdes, Estação Amândio Galhano, na pessoa da Doutora Engenheira Teresa Mota, pela cedência dos dados fenológicos e climáticos para a região dos Vinhos Verdes (Vale do Lima).

Direção Regional de Agricultura e Pescas do Norte, na pessoa dos Engenheiros Joaquim Guerner e Carlos Coutinho, pela cedência dos dados fenológicos e climáticos para a região dos Vinhos Verdes (Vale do Sousa).

ATEVA, na pessoa do Engenheiro António Rosa, pela cedência dos dados fenológicos e climáticos para a região do Alentejo.

Aos meus amigos e colegas de trabalho na WiseCrop. Pela flexibilidade com que me permitiram trabalhar nesta dissertação, por toda a confiança demonstrada e pelo incentivo. Juntos vamos mudar o mundo!

Resumo

A produção de vinho de qualidade está limitada a regiões climaticamente favoráveis à produção de variedades de uva com uma composição equilibrada e adequadas a uma gestão oportuna da vinha. As observações fenológicas são utilizadas por viticultores, em algumas regiões desde a Idade Média, para permitir a gestão destas complexas interações entre clima, genética, viticultura e enologia.

A fenologia pode definir-se como o estudo dos processos fisiológicos de desenvolvimento de uma cultura e a influência do ambiente nesse desenvolvimento, particularmente a influência do clima. O conhecimento da fenologia da videira é essencial para uma correta tomada de decisão durante as várias fases de crescimento da uva, assim como a planificação das operações como a rega, controlo de pragas e doenças, gestão do microclima da canópis, e colheita. Assim, desde a idade média que os viticultores observam fenómenos fenológicos numa tentativa de compreender a relação entre os fatores climáticos e genéticos no contexto da viticultura e enologia. A fenologia permite ainda compreender a correlação entre o clima e o comportamento das diferentes variedades da videira, possibilitando assim a previsão do seu comportamento em diferentes regiões vitivinícolas, como indicador das alterações climáticas.

Neste estudo foram desenvolvidos vários modelos que prevêm a variação espaço-temporal dos eventos fenológicos para diferentes variedades de videira em resposta ao clima em diversas regiões vitivinícolas Portuguesas.

Neste contexto, utiliza-se um método de otimização baseado no algoritmo de Simulated Annealing, que minimiza a escolha de ótimos locais no processo de parametrização dos modelos fenológicos. A *Phenology Modelling Platform* permite a parametrização destes modelos e foi a ferramenta utilizada na construção de modelos fenológicos preditivos.

Os modelos fenológicos foram parametrizados e validados através de dados para diversas variedades, recolhidos em diversas regiões vitivinícolas com séries de vários anos (+6 anos). As regiões em estudo foram: Alentejo, Douro, Torres Vedras e Vinhos Verdes.

Como resultado deste trabalho obtiveram-se vários modelos térmicos e térmicos com integração da dormência capazes de explicar com sucesso a variabilidade do comportamento da videira.

Após validados os modelos foram utilizados com dados recolhidos através de plataformas e satélites meteorológicos em conjunto com um sistema de informação geográfica, de forma a mapear o desenvolvimento da videira ao longo do ano.

Abstract

Premium wine production is limited to regions climatically conducive to potential growing grape-variety with balanced composition and varietal typicity and with opportune well vineyard management. For these intricate fusions of climate, genetics, viticulture and enology, phenological observations have been used by Vintners, in some regions, since the Medium Age.

Phenology is defined as the study of physiologic crop development and the influence of the surrounding environment to the plant, particularly the climate. Vineyard phenological data are essential for making good decision during many phases of grape-growing, such as programming the timing of vineyard operations such as irrigation, pest and disease control, canopy management and harvesting. Since middle age, vintners observe phenological phenomena in a effort to understand the relationship between climate and genetics in viticulture and oenology. They also provide a basis for correlative studies with climate and to gauche the behaviour of varieties, for predicting their behaviour in new wine regions and indicator of possible climate change.

On this research work were developed several models to predict the spatio-temporal variability of grapevine phenology response to climate on several grape varieties at different Portuguese Wine Regions as well as their behavior through the different regions.

The approach choose to this work uses an optimization method based on the Simulated Annealing algorithm, that minimize the choice of local optima while searching for the solution for an optimization problem. The Phenology Modelling Platform, that allows to parameterize a process-based phenological model, has been used to build several predictive phenological models.

The phenological models were then calibrated and validated with multi-year (+6 years), multi-variety and multi-site data collected in several Portuguese wine regions. The studied regions were Alentejo, Douro, Torres Vedras and Vinhos Verdes.

As result of this work, were obtained several thermal models, with and without dormancy integration, able to successfully explain variability on the vineyard behavior.

Once the model has been validated, it was used with the data generated by meteorological satellites coupled Geographic Informatics System platform to map the development of the vineyard over the year.

Palavras-Chave

Vitis vinífera; fenologia; dormência; abrolhamento; floração; pintor; modelação; arrefecimento simulado; Sistemas de Informação Geográfica.

Vitis vinífera; phenology; dormancy; budburst; floration; veraison; modelling; simulated annealing; Geographic Information System.

Índice

I.	Introdução	1
II.	Revisão do estado da arte	3
1.	Taxonomia e Distribuição da <i>Vitis vinífera</i> L.	3
2.	Anatomia e Fisiologia.....	4
3.	Desenvolvimento e Dormência.....	6
4.	Fenologia.....	9
4.1	Escalas fenológicas para a videira	9
4.2	Bases de dados fenológicas	12
5.	Modelos Fenológicos	15
5.1	Modelo térmico do ciclo vegetativo	16
5.2	Modelos térmicos com integração da dormência	18
6.	Algoritmos de Otimização.....	23
6.1	Simulated Annealing.....	23
7.	Software para modelização fenológica	25
8.	Sistema de Informação Geográfica e Sensores Meteorológicos	26
III.	Material e métodos.....	28
1.	Local de estudo	28
2.	Bases de Dados	34
2.1	Bases de Dados meteorológicos.....	34
2.2	Bases de Dados fenológicos.....	35
3.	Desenvolvimento de modelos fenológicos	38
3.1	Seleção dos modelos	38
3.2	Processo de ajustamento.....	40
3.3	Avaliação estatística dos Modelos	41
3.4	Portabilidade dos Modelos	42
4.	Implementação de modelos fenológicos em GIS	44
IV.	Resultados e Discussão	45
1.	Comportamento das Variedades utilizadas	45
2.	Seleção dos Modelos	50
3.	Ajustamento dos Modelos	54
3.1	Modelos térmicos.....	54
3.2	Modelos térmicos da maturação.....	66
3.3	Avaliação do efeito do Porta-Enxerto	67

3.4 Modelos térmicos com integração da Dormência	68
4. Validação Intra e Inter-regional	74
5. Mapeamento dos modelos fenológicos	76
V. Conclusões e perspectivas.....	79
VI. Bibliografia.....	81

Índice de tabelas

Tabela 1 - Comparação das diferentes escalas alfanuméricas utilizadas para caracterizar os diferentes estados fenológicos para cada escala fenológica da videira.	11
Tabela 2 – Estrutura e representação do Modelo Térmico.	17
Tabela 3 - Estrutura e representação do Modelo Alternado.....	19
Tabela 4 – Estrutura e representação do Modelo Sequencial	19
Tabela 5 – Estrutura e representação do Modelo Paralelo.	20
Tabela 6 - Estrutura e representação do Modelo Unificado.	20
Tabela 7 – Estrutura e representação do Modelo Deepening Rest	21
Tabela 8 - Estrutura e representação do Modelo Quatro Fases.	21
Tabela 9 – Tabela resumo das séries temporais de observações fenológicas recolhidas para a presente trabalho. D – Estado fenológico “Saída das folhas” – Abrolhamento; I – Floração; J – Alimpa; M – Pintor e N – Maturação/Vindima. Com “x” assinala-se se cada estado fenológico está disponível no respetivo local.....	36
Tabela 10 - Indicadores estatísticos utilizados na escolha dos Modelos Calibrados....	41
Tabela 11 – Número de dias médio entre os estados fenológicos estudados neste trabalho. O valor é apresentado em DOY (Dia do ano) e entre parêntesis é apresentado o desvio padrão.	48
Tabela 12 - Variedades mais precoces e tardias por região e por estado fenológico. .	49
Tabela 13 - Valor do parâmetro t_0 – data de arranque do modelo –, F^* – unidades de calor necessárias para ocorrência dos estados fenológicos modelados – e indicadores estatísticos da qualidade da calibração para os modelos GDD, Uniforc e Wangforc estimados para a previsão do Abrolhamento, Floração e Pintor.	50
Tabela 14 - Valores do parâmetro t_0 C – data de início de acumulação de unidades de frio, t_0 F – data de início da acumulação de unidades de calor –, C^* – unidades de frio necessárias para ocorrência da quebra da dormência –, F^* – unidades de calor necessárias à ocorrência do abrolhamento –, e indicadores estatísticos da qualidade da parametrização dos modelos paralelo, sequencial e unified para o estado fenológico do abrolhamento.	52
Tabela 15 – Resultados das parametrizações do modelo WF Abro. São apresentados os resultados da melhor repetição*. n – número de observações utilizadas na parametrização do modelo; t_0 – dia de início do modelo; F^* - valor acumulado de unidades de calor; t_{opt} – temperatura ótima de desenvolvimento; t_{min} – temperatura mínima de desenvolvimento; t_{max} – temperatura máxima de desenvolvimento; R^2 – coeficiente de determinação; AIC – critério de informação Akaike; MAD – desvio médio absoluto e RMSE – desvio médio quadrático.	55
Tabela 16 - Resultados das parametrizações do modelo WF Flor. São apresentados os resultados da melhor repetição*. n – número de observações utilizadas na	

parametrização do modelo; t_0 – dia de início do modelo; F^* - valor acumulado de unidades de calor; t_{opt} – temperatura ótima de desenvolvimento; t_{min} – temperatura mínima de desenvolvimento; t_{max} – temperatura máxima de desenvolvimento; R^2 – coeficiente de determinação; AIC – critério de informação Akaike; MAD – desvio médio absoluto e RMSE – desvio médio quadrático..... 56

Tabela 17 - Resultados das parametrizações do modelo WF Pintor. São apresentados os resultados da melhor repetição*. n – número de observações utilizadas na parametrização do modelo; t_0 – dia de início do modelo; F^* - valor acumulado de unidades de calor; t_{opt} – temperatura ótima de desenvolvimento; t_{min} – temperatura mínima de desenvolvimento; t_{max} – temperatura máxima de desenvolvimento; R^2 – coeficiente de determinação; AIC – critério de informação Akaike; MAD – desvio médio absoluto e RMSE – desvio médio quadrático..... 57

Tabela 18 – Comparação do valor médio, máximo, mínimo e desvio padrão para os parâmetros temperatura ótima, temperatura mínima e temperatura máxima para os três estados fenológicos modelados com a função WangForc. 58

Tabela 19 - Resultados das parametrizações do modelo WF Matur. São apresentados os resultados da melhor repetição*. n – número de observações utilizadas na parametrização do modelo; t_0 – dia de início do modelo; F^* - valor acumulado de unidades de calor; t_{opt} – temperatura ótima de desenvolvimento; t_{min} – temperatura mínima de desenvolvimento; t_{max} – temperatura máxima de desenvolvimento; R^2 – coeficiente de determinação; AIC – critério de informação Akaike; MAD – desvio médio absoluto e RMSE – desvio médio quadrático..... 66

Tabela 20 – Comparação dos parâmetros estimados para o modelo WF Abro para a Quinta da Cavadinha com e sem tendo em consideração o porta-enxerto. Cada bardo corresponde a um diferente porta-enxerto..... 67

Tabela 21 - Resultados das parametrizações do modelo Paralelo. São apresentados os resultados da melhor repetição*. n – número de observações utilizadas na parametrização do modelo; t_0 Chill – dia de início da acumulação de unidades de Frio; t_0 Forc – dia de início da acumulação de unidades de calor; C^* - valor acumulado de unidades de frio; F^* - valor acumulado de unidades de calor; t_{low} e t_{high} – parâmetros da função de Richardson; t_{opt} , t_{min} e t_{max} – parâmetros da função triangular; d e e – parâmetros da função Sigmoid; R^2 – coeficiente de determinação; AIC – critério de informação Akaike; MAD – desvio médio absoluto e RMSE – desvio médio quadrático..... 69

Tabela 22 - Resultados das parametrizações do modelo Sequencial. São apresentados os resultados da melhor repetição*. n – número de observações utilizadas na parametrização do modelo; t_0 – dia de início do modelo; C^* - valor acumulado de unidades de frio; F^* - valor acumulado de unidades de calor; t_{opt} , t_{min} e t_{max} – parâmetros da função triangular; d e e – parâmetros da função Sigmoid; R^2 – coeficiente de determinação; AIC – critério de informação Akaike; MAD – desvio médio absoluto e RMSE – desvio médio quadrático..... 70

Tabela 23 – Comparação do R^2 e RMSE do modelo térmico WF Abro e modelos térmicos Paralelo e Sequencial. $\Delta(1-3)$ e $\Delta(2-3)$ são a diferença entre os parâmetros estatísticos dos modelos térmicos com integração da dormência e os parâmetros dos modelos exclusivos de crescimento..... 72

Tabela 24 – Resultados da validação intra-regional e inter-regional do modelo WF Abrolhamento.....	74
Tabela 25 - Resultados da validação intra-regional e inter-regional do modelo WF Floração.....	74
Tabela 26 - Resultados da validação intra-regional e inter-regional do modelo WF Pintor.....	74

Índice de figuras

Figura 1 – Mapa de distribuição das Vitaceas no mundo (Wan et al. 2013).	3
Figura 2 – Principais elementos do caule da videira antes da floração (à esquerda) e corte de um gomo dormente na axila de uma folha, apresentando gomos primários, secundários e terciários (à direita) (Hellman W. Edward 2003).....	5
Figura 3 - Tipos de dormência, exemplos de causas e estruturas afetadas. Traduzido e adaptado de Horvath et al. 2003.....	8
Figura 4 - Escala desenvolvida por Eichorn & Lorenz e posteriormente modificada por Coombe. Imagem modificada a partir de Coombe 1995.	10
Figura 5 - Mapa dos Jardins associação ao Internacional Phenology Garden (Humboldt-Universität Zu Berlin 2010)	14
Figura 6 – Diferentes abordagens utilizadas na modelação fenológica, relativo aos períodos de tempo em que os gomos são afetados pela acumulação de unidades de forçagem (linha tracejada) e unidades de frio (linha contínua).Um ponto no início de uma fase indica uma data fixada para o início. Imagem adaptada e traduzida de Chuine (2000a) e Fu et al. (2012).	16
Figura 7 - Função definida por Wang & Engel para descrever o efeito da temperatura diária no desenvolvimento de um ser vivo.	18
Figura 8 - Ambiente gráfico de utilização do Phenology Modelling Platform.....	25
Figura 9 – Mapas das regiões vitivinícolas portuguesas.	28
Figura 10 - Climatogramas com as temperaturas médias mensais e a pluviosidade média mensal calculadas com base na média de dados durante 30 anos. Fonte: IPMA (1970)	30
Figura 11 – Variação anual dos fluxos de água no solo para cálculo do balanço hídrico no solo, tendo em consideração uma capacidade de reserva de água no solo de 100 mm. Cálculos realizados com recurso à média de dados durante 30 anos. Fonte: IPMA (1970)	32
Figura 12 - Na esquerda apresenta-se a distribuição em Portugal Continental do somatório de horas de frio (inferiores a 7,2°C) entre 1 de Outubro de 2015 e 30 de Abril de 2015. Na esquerda é apresentado o somatório de Graus Dias com base 3,5°C entre 1 de Janeiro.....	33
Figura 13 - Escala de Baggiolini segundo a Estação de Avisos Agrícolas da Direção Regional de Agricultura do Algarve.	35
Figura 14 - Representação do método de otimização Simulated Annealing proposto por Metropolis (Ribeiro 2008)	40
Figura 15 - Esquematização da fase de validação dos modelos construídos e avaliados. A vermelho estão assinalados os locais de estudo, azul representa-se a validação cruzada (regional), a preto a validação inter-regional dos modelos.....	43

Figura 16 - Variabilidade dos dados fenológicos por variedade e por local, em análise. Os pontos representam a data média de ocorrência do estado, e as linhas verticais o desvio padrão das observações.	46
Figura 17 - Representação gráfica da função de Wang (Modelo WangForc), GDD (Modelo GDD) e Sigmoide (Modelo Uniforc).	52
Figura 18 - Parametrização da Função de Wang aos estados Fenológicos Abrolhamento (WF Abro), Floração (WF Flor) e Pintor (WF Pintor) para a variedade Castelão em Redondo.	59
Figura 19- Representação gráfica da função de Wang parametrizada para todas as variedades estudadas (Tinta Amarela, Tinta Barroca, Tinta Roriz, Touriga Francesa, Alvarinho, Chasselas, Loureiro, Borraçal, Fernão Pires, Vinhão) em quatro locais (Valmor, Arcos de Valdevez, Dois Portos, Redondo). Foram apenas consideradas as funções com um R ² superior a 65%.	61
Figura 20 - Representação gráfica da função de Wang parametrizada para quatro diferentes variedades (Fernão Pires, Tinta Barroca, Castelão e Loureiro) e em para diferentes locais (Arcos de Valdevez, Dois Portos, Redondo, Valmor e Ferlgueiras). Foram apenas consideradas as funções estatisticamente significativas.	62
Figura 21 - Temperaturas ótimas de desenvolvimento estimadas para a função de Wang parametrizada ao estado de abrolhamento. Quando disponível mais do que uma série para a mesma variedade optou-se pelo modelo com maior R ² . Na existência de mais que um modelo com o mesmo R ² , foi calculou-se a média aritmética entre as temperaturas ótimas de desenvolvimento (assinalado com um *).	64
Figura 22 - Temperaturas ótimas de desenvolvimento estimadas para a função de Wang parametrizada ao estado de abrolhamento. Quando disponível mais do que uma série para a mesma variedade optou-se pelo modelo com maior R ² . Na variedade Chasselas (assinalada com **), desprezou-se o modelo com maior R ² por este ter resultado da parametrização de uma série muito pequena.	64
Figura 23 - Temperaturas ótimas de desenvolvimento estimadas para a função de Wang parametrizada ao estado de abrolhamento. Quando disponível mais do que uma série para a mesma variedade optou-se pelo modelo com maior R ²	64
Figura 24 - Mapa da data de floração para a variedade Loureiro na região dos Vinhos Verdes para os anos 2008, 2011 e 2014.	77
Figura 25 - Mapa da data de floração para a variedade de Fernão Pires em Portugal Continental para os anos 2008, 2011 e 2014.	78

Lista de abreviaturas

MAD – Desvio Médio Absoluto

RMSE – Desvio Médio Quadrático

WF Abro – Modelo WangForc Abrolhamento

WF Flor – Modelo WangForc Floração

WF Pintor – Modelo WangForc Pintor

WF Matur – Modelo WangForc Maturação

SA – Simmulated Annealing

GIS – Geographic Information System

I. Introdução

A produção de vinho resulta da criatividade humana mas também da inovação tecnológica e pode ser considerada uma ciência ou uma arte. Esta é uma atividade que remonta aos primórdios da humanidade, numa altura em que a capacidade de transformar o sumo de uva em vinho era considerado uma dádiva dos Deuses (Bisson et al. 2002). Para além da preponderância do fator humano e tecnológico sabe-se que a produção de vinhos de qualidade superior está intrinsecamente relacionada com o meio envolvente, sendo popular a definição de *terroir*, um conceito desenvolvido em França, que correlaciona factorialmente três principais componentes, o clima, o solo e a cultivar com a qualidade final da uva e, por consequência, do vinho (Van Leeuwen et al. 2004).

Por sua vez, a variabilidade da resposta das culturas em função do clima é uma das principais componentes da incerteza associada à tomada de decisão agrícola. Compreender a forma como esta relação funciona oferece ao produtor agrícola uma importante ferramenta para orientar o seu trabalho, antecipando o comportamento das culturas e permitindo uma ação preventiva, seja no planeamento pré-instalação ou ao longo dos ciclos de produção.

Antes mesmo da instalação da cultura, um sem fim de decisões tem que ser tomadas pelo produtor, entre estas está a escolha da cultura e das variedades mais adaptadas à região. A adaptabilidade é função das características edafoclimáticas da região e que vai de encontro às necessidades de frio, calor ou então a necessidade de assíncronia entre a época de geadas e a ocorrência de fases da vida da planta sensíveis às baixas temperaturas (Schwartz 2003; Logan, Deyton, and Lockwood 1990).

Também a compreensão da fenologia e da sua variabilidade entre variedades é uma poderosa ferramenta, principalmente para os grandes produtores, ao permitir um eficaz escalonamento na maturação e consequentemente na colheita permitindo ao produtor, no momento da instalação, a escolha de variedades mais precoces ou mais tardias de forma a estender o período de vindimas de forma a otimizar a utilização dos recursos humanos e tecnológicos.

Após a instalação a previsão da evolução da cultura mantém a sua importância ao ser um indicador decisivo para poder calendarizar as mais diversas operações como por exemplo a rega, a fertilização e a proteção fitossanitária da cultura (Schwartz 2003) podendo ainda ser importante para prever a necessidade de outras intervenções como podas em verde ou mondas de flores ou frutos.

Para além da aplicação direta na agricultura, o estudo da fenologia é importante para a investigação científica nas mais diversas áreas, sendo por exemplo um interessante indicador da evolução do clima ao longo dos últimos séculos (Chuine et al. 2004) e tendo sido já utilizado na avaliação das alterações climáticas e os seus impactos (Filella 2001; Chmielewski et al 2004).

Neste contexto, a existência de indicadores bioclimáticos, que relacionem o ambiente e a cultura é necessária para definir uma estratégia de planeamento e gestão que vá de encontro a otimizar processos produtivos e, com isso maximizar a rentabilidade de vitivinicultores.

Um dos problemas com que se debatem os viticultores na instalação de uma vinha é a escassez de indicadores para o desenvolvimento das diferentes variedades de vinha e em particular de variedades autóctones e de menor expressividade em termos de área total à escala mundial, sendo que mesmo as variedades mais estudadas carecem de validação em diferentes cenários edafoclimáticos.

Portugal insere-se na Península Ibérica, uma das regiões no mundo com maior variabilidade de variedades autóctones e considerada um dos centros de diversidade e da domesticação de *Vitis vinífera* (Arroyo-García et al. 2006). Neste contexto vários trabalhos tem sido realizados no sentido de compreender e estudar o comportamento de diferentes variedades nas regiões produtivas nacionais, porém os trabalhos realizados nesta área não convergem na criação de modelos eficazes e eficientes, e com uma operacionabilidade razoável para a gestão diária da atividade agrícola (Malheiro et al. 2013; Oliveira 1998).

Uma abordagem que tem demonstrado potencial para resolver o problema proposto passa pela inovação na forma como se constroem as ferramentas para a previsão do desenvolvimento da videira. Para isso podemos recorrer a metodologias de otimização que já são utilizadas há décadas em outras áreas científicas, de forma a encontrar soluções mais próximas de um ótimo, para prever a evolução da cultura (Parker et al. 2013; Chuine 2000b).

Este trabalho tem como principal objetivo construir modelos preditivos da fenologia de variedades da videira, baseados em dados climáticos para as regiões do Alentejo, Douro, Torres Vedras e Vinhos Verdes. De forma a alcançar este objetivo foram testadas duas abordagens, a modelação com consideração as exigências de calor e a modelação com consideração das exigências de calor e de frio da videira. Em ambas as situações foi utilizado um algoritmo de otimização (*simulated annealing*) para calibração dos modelos testados para as condições e variedades locais.

II. Revisão do estado da arte

1. Taxonomia e Distribuição da *Vitis vinífera* L.

Sendo uma cultura importante e com grande impacto na economia mundial (Vivier and Pretorius 2002), a *Vitis vinífera* L. tem sido ao longo das últimas décadas alvo do escrutínio científico de forma a aumentar a compreensão da sua evolução. Pertence à família das Vitáceas, as quais se dividem em Vitáceas das zonas temperadas (América do Norte, Europa e Ásia) e em Vitáceas de zonas tropicais e subtropicais (América do Sul, África tropical e austral, Oceânia e Ásia meridional) (Magalhães 2011). Para além destas duas subfamílias as Vitáceas dividem-se em 19 géneros, dos quais se destaca o género *Vitis*. É a este nível que se encontram as espécies e cultivares utilizadas na agricultura, sendo que nos outros géneros distinguem-se apenas algumas espécies ornamentais.

Apesar de atualmente constituírem apenas pequenos nichos localizados, acredita-se que o género *Vitis* no passado poderia ser encontrado amplamente



Figura 1 – Mapa de distribuição das Vitáceas no mundo (Wan et al. 2013).

distribuído (Figura 1) no hemisfério norte durante o período Terciário, sendo que esta distribuição se justifica pelo facto de os bagos de uva constituírem um alimento de eleição para várias aves e mamíferos (Wan et al. 2013).

2. Anatomia e Fisiologia

Morfologicamente a videira é uma liana sarmentosa, característica que permite em certas condições que esta espécie atinja grandes portes. A Cepa – denominação comum dada à videira – é constituída por um sistema radicular que varia em organização com o método de propagação, o tronco que apresenta na sua juventude uma grande maleabilidade a qual vai perdendo ao longo dos anos à medida que o seu diâmetro aumenta, sendo esta característica determinante para a importância que esta espécie tem adquirido ao longo dos séculos permitindo que esta seja domesticada pelo Ser Humano e aumentando a sua rentabilidade, e por fim os braços, na extremidade dos quais se inserem as varas as quais emitem novos lançamentos, constituídos por nós e entrenós e onde se encontram folhas, inflorescências e gavinhas. (Magalhães 2011).

O sistema radicular da videira na natureza e quando multiplicada por via sexuada, possui uma organização aprumada enquanto em plantas reproduzidas assexuadamente por via vegetativa, como é o caso dos clones utilizados comercialmente, a raiz é fasciculada (Mullins et al. 1992). O sistema radicular é anualmente renovado em duas fases distintas, na Primavera quando a temperatura aumenta para lá dos 10°C, e no fim do Verão quando se iniciam as primeiras chuvas Outonais.

A parte área da vide as varas podem denominar-se de lançamentos ou sarmentos caso estejam ou não atempados. O fenómeno do atempamento decorre durante o repouso vegetativo, sendo que este se caracteriza pelo endurecimento da vara, assim como pela alteração da sua cor (Magalhães 2011). Quando os gomos vegetativos de uma vara do ano dão origem a novos lançamentos estes são, denominados de netas, e quando surge um novo lançamento de um sarmento então estas varas denominam-se de ladrões.

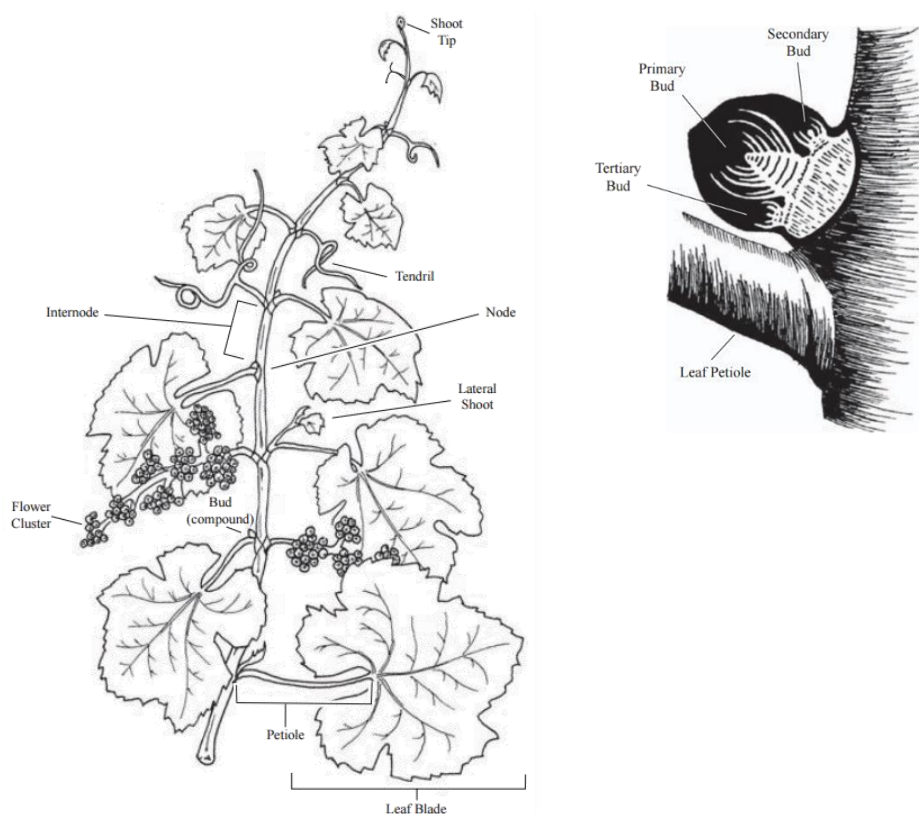


Figura 2 – Principais elementos do caule da videira antes da floração (à esquerda) e corte de um gomo dormiente na axila de uma folha, apresentando gomos primários, secundários e terciários (à direita) (Hellman W. Edward 2003).

Os gomos localizam-se nos nós das varas, nestes é possível encontrar uma folha com dois gomos axilares de um lado, e do outro um cacho ou uma gavinha (Magalhães 2011) (Figura 2). Distinguem-se dois tipos de gomos, por um lado os chamados "gomos prontos" os quais evoluem durante o período de crescimento da videira, e estão na origem das netas, por outro lado existem os gomos hibernantes, os quais necessitam de um período de dormência – frio – para se desenvolverem e darem origem a lançamentos (Magalhães 2011).

As flores da videira, são hermafroditas e agrupam-se em inflorescências ramificadas que se desenvolvem em cachos, correspondendo cada flor a um bago, o qual atinge normalmente entre 1 – 3 gramas (Magalhães 2011).

3. Desenvolvimento e Dormência

Distinguem-se dois conceitos, crescimento e desenvolvimento. Enquanto crescimento é relativo ao aumento do número ou volume de órgãos, por exemplo o aumento do número e tamanho de flores, o desenvolvimento relaciona-se com o processo de diferenciação, como por exemplo a transição das inflorescências em cachos.

O desenvolvimento por sua vez origina uma sucessão de eventos que podem ser organizados em ciclos, tal como o ciclo cultural e o ciclo biológico. O ciclo cultural é o ciclo perçecionado pelo produtor e que diz respeito ao período entre o abrolhamento e a colheita. O ciclo biológico da videira por sua vez é bianual e divide-se em ciclo reprodutor e ciclo vegetativo. O primeiro atravessa um período de dois anos que decorre entre a iniciação floral no início da Primavera do ano $n-1$. até ao desenvolvimento do fruto (geralmente Setembro do ano n). O ciclo vegetativo da videira é caracterizado por um período de crescimento vegetativo, que se inicia com o abrolhamento dos gomos hibernantes e termina com a queda das folhas no qual a videira passa por diferentes estados de desenvolvimento. No fim do ciclo de vegetativo a videira entra num período de dormência durante o qual não há crescimento. A dormência é resultado de um bem-sucedido processo de evolução, sendo que órgãos totalmente desenvolvidos e particularmente órgãos em estado de dormência são muito mais resistentes a adversidades climáticas como o frio, seca e calor, assim, plantas capazes de estabelecer um período de dormência antes do início de estações desfavoráveis ao desenvolvimento, como por exemplo invernos ou verões rigorosos, são competitivamente mais aptas em condições desfavoráveis do que plantas incapazes de desencadear este processo (Vegis 1964).

Esta dormência pode ser segundo Vegis (Vegis 1965) e Lavee e May (1997) dividida em dois tipos: “Dormência Parcial do Crescimento” e “Dormência Completa”. A primeira refere-se aos gomos vegetativos, na qual não há crescimento vegetativo mas mantem-se a atividade metabólica, a segunda ocorre após a queda das folhas e neste fase a atividade metabólica e o crescimento vegetativo da planta cessa quase por completo.

A Dormência Parcial do Crescimento enquadra-se no ciclo de desenvolvimento dos gomos, e este divide-se em quatro fases: i) morfogénese; ii) dormência; iii) quiescência e iv) crescimento (Vegis 1965). A morfogénese ocorre quando há formação e indução dos gomos florais, sendo que é neste momento que ocorre parte da diferenciação dos órgãos da planta. Isto significa que as condições climáticas nesta fase são fundamentais também de um ponto de vista económico. A dormência pode ser

desencadeada por correlação entre os órgãos da videira (dormência correlativa), mas sobretudo por fatores ambientais – temperatura e fotoperíodo –, sendo que para esta fase estar completa é necessário que os gomos sejam sujeitos a baixas temperaturas. Pouget (1988) estimou a necessidade de sete dias consecutivos com temperaturas inferiores a 10°C para a variedade Merlot, porém outros trabalhos dão conta de gomos abrolhados sem qualquer exposição ao frio (Kliewer and Soleimani 1972). Londo (2014) estudou a variação das necessidades de frio para diferentes espécies de videira selvagens, algumas utilizadas habitualmente como porta-enxerto, tal como a *Vitis riparia*, *Vitis labrusca* ou a *Vitis rupestris*, encontrando espécies com necessidades de exposição a períodos de frio – temperaturas inferiores a 4°C – de 500 horas e outras com 2250 horas.

Na quiescência ocorrem alterações a nível do metabolismo das células vegetais, nesta fase, os gomos preparam-se para iniciar o seu crescimento, sendo que para que isto aconteça é necessário que a planta seja sujeita a temperaturas mais elevadas (Ribeiro 2008).

Lang (1987) e Horvath (2003), por sua vez, propuseram uma divisão da dormência tendo em consideração processos fisiológicos, determinando assim três diferentes tipos: i) paradormência, ii) endodormência e a iii) ecodormência. A diferença entre os diferentes tipos de dormência, as estruturas afetadas por cada um destes e exemplos de causas para a entrada em cada um desses tipos são apresentados na figura 3. Lavee e May (1997), consideraram que a videira tem uma transição entre as diferentes fases da dormência muito difusa, por essa razão propuseram uma divisão que enfatiza o processo de entrada e saída do estado de dormência. Esta divisão determina três fases denominadas por: i) pré-dormência, ii) dormência e iii) pós-dormência.

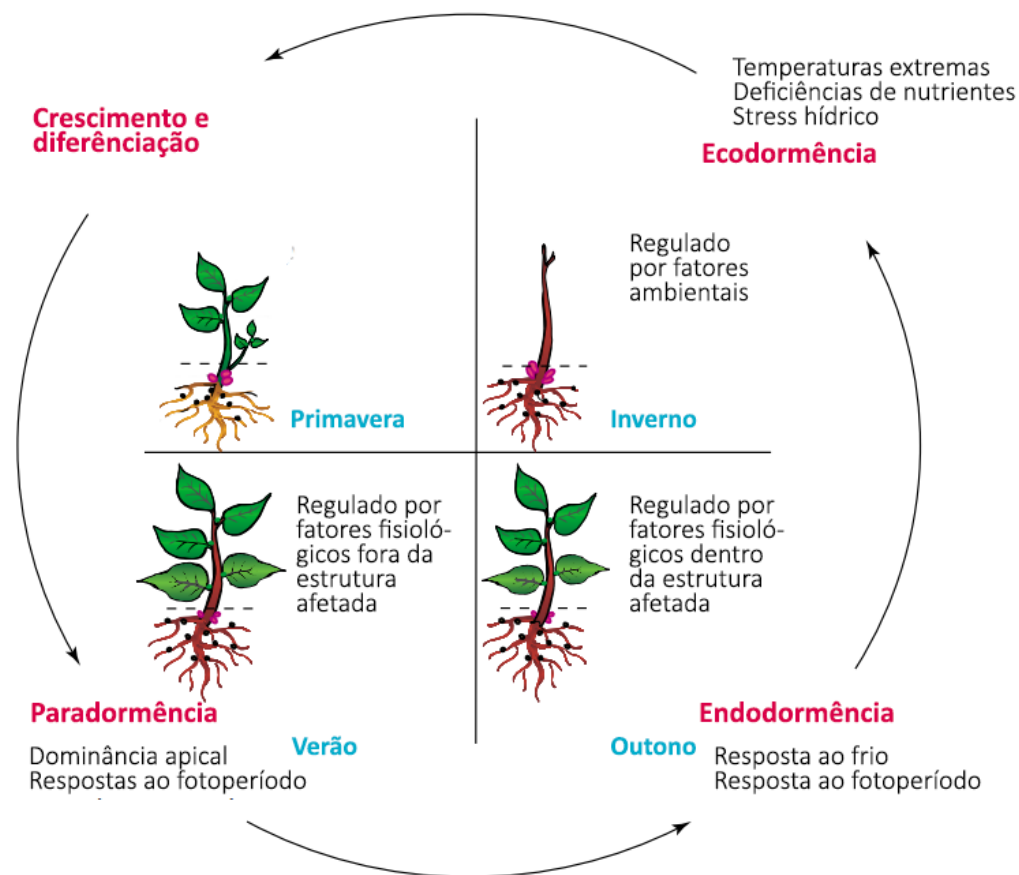


Figura 3 - Tipos de dormência, exemplos de causas e estruturas afetadas. Traduzido e adaptado de Horvath et al. 2003.

Tanto o desenvolvimento como a dormência estão correlacionadas com as necessidades de uma cultura por determinadas condições climáticas, sejam estas o frio ou o calor, necessários para que ocorra um estado fenológico. Estas necessidades podem ser quantificadas através de unidades próprias e são a base para a construção de ferramentas preditivas do desenvolvimento da cultura.

Quando se fala no número de horas de frio está-se a referir a Unidades de Frio ou Unidades de Arrefecimento (*Chilling Units*) e estas são particularmente importantes para que o estado de dormência do gomo seja completado conduzindo ao abrolhamento e por consequência a conclusão do ciclo vegetativo. Por outro lado, denominam-se por Unidades de Calor ou Unidades de Forçagem (*Forcing Units*), as necessidades da planta em ser exposta a calor para que ocorra o desenvolvimento (Lavee and May 1997; Cannell and Smith 1983; Murray et al. 1989; Chuine et al. 1999).

4. Fenologia

Derivada da palavra grega *phaino*, a qual significa “aparecer”, a fenologia é o estudo de eventos biológicos que são periódicos (fenofases ou estados fenológicos) e que de alguma forma são influenciados pelo meio ambiente (Schwartz 2003). A temperatura, humidade e radiação são fatores considerados preponderantes para a sucessão dos diferentes estados fenológicos porém, também a disponibilidade de água, nutrientes, a interação entre órgãos da planta e da planta com outros ser vivos desempenham o seu papel no desenvolvimento de plantas e animais (Schwartz 2003; Buttrose 1969; Mullins et al. 1992; Mariani et al. 2013).

Se por um lado a fenologia deriva do interesse nas relações do sistema ser vivo – meio ambiente, esta adquire particular importância do ponto de vista da produção agrícola ao explicar alguns dos fenómenos responsáveis pela variabilidade anual das culturas ao prover o produtor agrícola de uma ferramenta que lhe permite adequar as estratégias de rega, fertilização e proteção cultural (Ruml and Vulic 2005) numa estratégia de obter sistemas de produção mais eficientes.

O estudo da fenologia pressupõem o desenvolvimento de ferramentas que permitam a sua sistematização. Exemplo dessas ferramentas são escalas fenológicas (ver secção seguinte) que permitem uniformizar as observações fenológicas das culturas e assim formar, bases que constituem importantes repositórios históricos da evolução das culturas. Estes repositórios são essenciais para, em conjunto com a informação climática, permitir o desenvolvimento de modelos fenológicos capazes de apoiar o produtor na antecipação do desenvolvimento das culturas.

4.1 Escalas fenológicas para a videira

Para a videira existem várias escalas fenológicas que foram desenvolvidas de forma a caracterizar, mais frequentemente o seu ciclo cultural. A escala fenológica de Baggiolini (1952) é atualmente a mais divulgada para a videira. Esta escala tem em consideração 16 fenofases, entre o abrolhamento e a queda das folhas, é baseada em eventos facilmente identificáveis a “olho nu”. Esta escala foi posteriormente ajustada por Baggiolini e Baillod (1993) passando a descrever 20 fenofases.

Mais tarde, Eichhorn e Lorenz (1997) desenvolveram uma escala que para além de mais detalhada que a de Baggiolini, compreende 22 estados fenológicos e apresenta

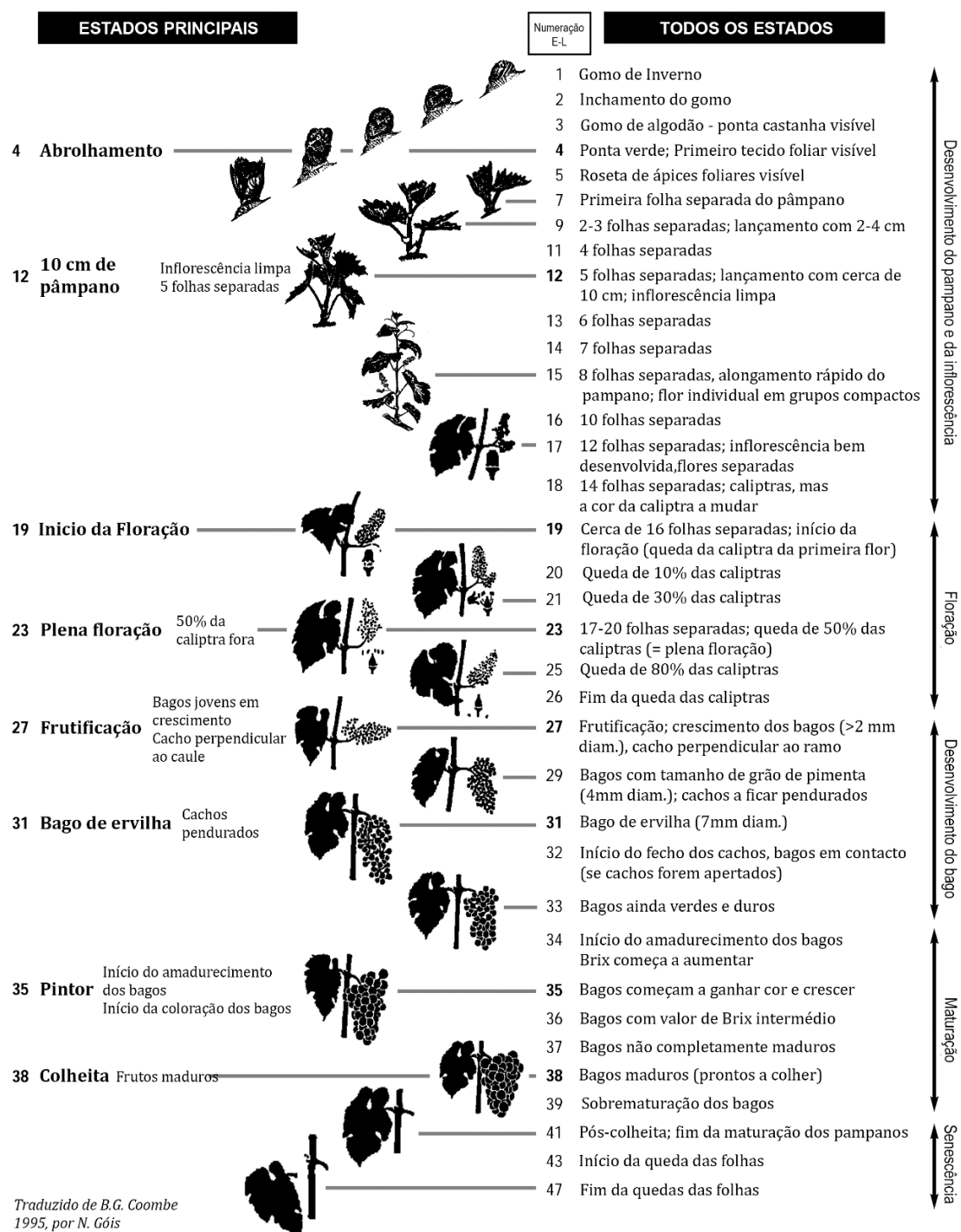


Figura 4 - Escala desenvolvida por Eichhorn & Lorenz e posteriormente modificada por Coombe. Imagem modificada a partir de Coombe 1995.

uma codificação numérica que facilita a sua indexação em bases de dados relacionais. Esta escala foi posteriormente modificada por Coombe (1995) passando a designar-se Sistema de Eichhorn e Lorenz modificado. Esta escala modificada passa a contemplar

47 fenofases, de entre as quais se distinguem oito fases principais e um conjunto detalhado de fases intermédias apresentados na figura 4. (Schwartz 2003).

Lorenz (1995) propôs ainda uma adaptação da escala BBCH (*Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie*) para a videira, este sistema de classificação foi originalmente concebido para descrever o desenvolvimento de cereais (Zadoks et al. 1974) numa colaboração entre o Centro Alemão da Investigação Biológica para Agricultura e Floresta (BBA), o Gabinete para as Variedades de Plantas do Governo Federal da Alemanha (BSA), a Associação Agroquímica Alemã (IVA), a Indústria Agroquímica do mesmo país assim como o Ministério da Agricultura de Schleswig/Holstein e o Instituto dos Vegetais e Ornamentais em Grossbeeren/Erfurt, Germany (IGZ). A escala BBCH proposta por Lorenz resultou numa escala com 7 estágios principais complementados por inúmeros micro-estágios intermédios (Lorenz et al. 1995; Schwartz 2003). Na tabela 1 comparam-se os estados fenológicos das 4 escalas, apresentando as equivalências entre escalas.

Tabela 1 - Comparação das diferentes escalas alfanuméricas utilizadas para caracterizar os diferentes estados fenológicos para cada escala fenológica da videira.

	Baillod & Baggiolini	Eichhorn & Lorenz	E-L Modificado	BBCH Extendido
	A	01	1	00
		02	2	01
	B			03
		03	3	05
Abrolhamento	C	05	4	07
	D		5	09
	E	07	7	11
				12
		09	9	13
			11	14
10cm pânpano	F		12	15, 53
		12	13	16
			14	
	G	15	15	55
			16	
	H	17	17	57
			18	
Início da floração		19	19	60
			20	61
		21	21	63
Plena floração	I	23	23	65
		25	25	68
		26	26	69
Frutificação	J	27	27	71
		29	29	73
	K	31	31	75
			32	77
	L	33	33	79
			34	
Pintor	M	35	35	81
			36	
			37	

Colheita	N	38	38	89
			39	
	O	41	41	91
				92
	P	43	43	93
				95
		47	47	97

Independentemente da escala fenológica utilizada, a determinação da data de ocorrência de um estado não é precisa. Por um lado, a transição de todos os indivíduos da população observada não ocorre em simultâneo, podendo em algumas variedades haver uma grande diferença entre a data em que o primeiro indivíduo e o último indivíduo da mesma população atingem um dado estado fenológico. É por isso necessário estabelecer um critério que defina quando é que a população observada transita para um novo estado. Normalmente define-se como a data de um determinado estado, o dia em que 50% da população o atinge. Por outro, existem estados de rápida transição e como tal, a frequência de visita à área de produção – normalmente três dias na vinha – pode não ser suficiente para determinar com exatidão o dia em que ocorre a transição entre dois estados.

O facto de existir uma grande variabilidade espaço-temporal justifica a necessidade de desenvolvimento de planos de amostragem adequados para um acompanhamento dos estados fenológicos, e isso pode passar pela utilização de métodos remotos de medição da transição entre estados, como por exemplo a utilização de fotografias capturadas automaticamente (Crimmins and Crimmins 2008), o uso de índices de reflectância da vegetação (Reed et al. 1994; White et al. 2009; Rodrigues et al. 2012; Cunha et al. 2010), ou o registo de emissões de pólen (Cunha et al. 2014; Ribeiro et al. 2006).

A construção de escalas fenológicas inequívocas e de fácil utilização é essencial para que sejam construídas bases de dados fenológicas, as quais agrupam as datas de ocorrência de cada estado fenológico para um determinado local.

4.2 Bases de dados fenológicas

Apesar de se verificar atualmente um aumento do interesse no estudo da fenologia e, por conseguinte no acompanhamento do desenvolvimento das culturas (Mariani et al. 2013), desde há mais de 2000 anos que se conhece o seu interesse pelo homem para melhor compreender a natureza nomeadamente a ação do meio ambiente nos seres vivos. O mais antigo registo regular do desenvolvimento das plantas remonta

a 750 AD, onde a Corte Real Japonesa registava o início da floração da Cerejeira (Menzel 2002; Schwartz 2003).

É na Europa onde existe uma maior profusão de coleções históricas de registo das fenofases em diversas culturas. Em França, na Borgonha, existem registos da data de colheita da uva que datam de 1370, não sendo este um registo direto de um evento fenológico, pois a data de colheita não corresponde diretamente a um mesmo estado de maturação todos os anos, sendo apenas um indicador da data aproximada desse estado (Chuine et al. 2004). Também em Norfolk, no Reino Unido, existe um registo histórico elaborado pela família Marsham onde, entre outros, eram registados os primeiros cantos de aves migrantes, o surgimento das primeiras borboletas na primavera e o surgimento das primeiras folhas para várias espécies entre os anos de 1736 e 1947 (Sparks and Carey 1995; Sparks, n.d.). Foi também no século XVIII que se estabeleceu a primeira rede de observações fenológicas, na Suécia e através de Linné (Schwartz 2003).

Os *International Phenology Garden* são uma iniciativa fundada por Schnelle em 1958 (Schnelle 1958) a qual se particulariza pela procura em eliminar o efeito genético no estudo da variabilidade do desenvolvimento. Para isso, o mesmo clone da mesma espécie é cultivado em diferentes locais do mundo e em condições equivalentes, sendo que existem atualmente 89 jardins ativos (Figura 5), os quais partilham um protocolo de observação comum gerido pela Universidade de Berne, a entidade responsável pela manutenção dos jardins desde 1970. Portugal possui o jardim IPG mais ocidental da Europa localizado em Évora e constituído em 2004. Antes da constituição deste jardim existia outro no Centro de Geofísica da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, sendo que foi recentemente desativado. A videira é uma das espécies que tem sido há várias décadas monitorizada ao abrigo deste programa, não existindo contudo preocupações para o controlo da variabilidade genética entre os jardins fenológicos dos diferentes países.

As informações recolhidas nestes locais tem sido utilizadas para estudar a evolução do clima Europeu, sendo que estudos recentes comprovam a alteração da data de início da Primavera, causa do aumento da duração da época de crescimento das plantas (Menzel and Fabian 1999).

Portugal, segundo um inquerito promovido pela *World Meteorological Organization* (WMO) em 2000, pertence a um grupo de seis países de entre 28 inquiridos que não possui uma rede regular de observação fenológica (Schwartz 2003). Existem no entanto alguns registos informais na posse de algumas empresas, nas

estações de avisos regionais, na Estação Vitivinícola de Dois Portos e na Estação Vitivinícola Amândio Galhano, na Região dos Vinhos Verdes.

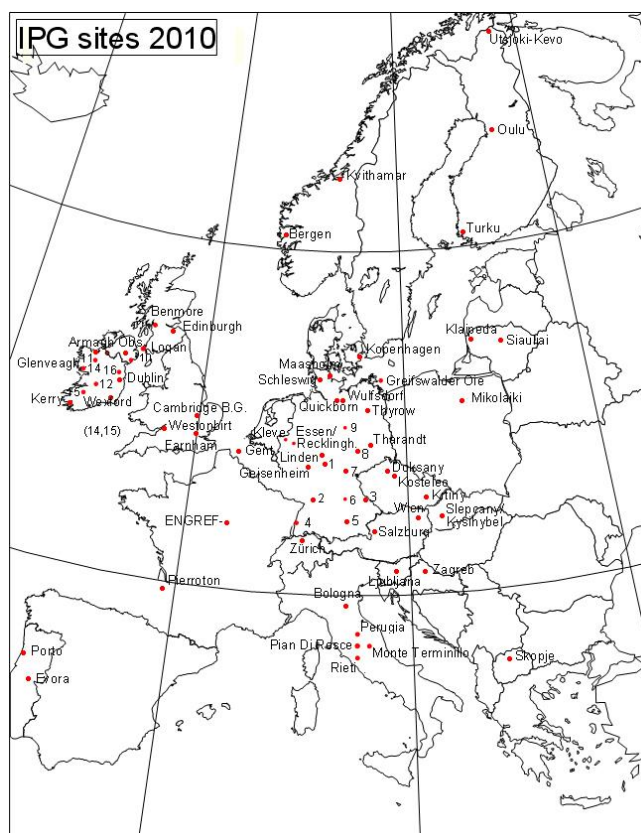


Figura 5 - Mapa dos Jardins associação ao Internacional Phenology Garden (Humboldt-Universität Zu Berlin 2010)

5. Modelos Fenológicos

Os modelos fenológicos são ferramentas que na sua maioria assentam na assunção estabelecida por Réaumur (1735) que atribui à variação das temperaturas diárias, a partir de uma determinada data, a explicação para a variabilidade da ocorrência de estados fenológicos em diferentes locais e anos (Schwartz 2003). Partindo deste princípio os investigadores foram capazes de desenvolver ferramentas matemáticas, capazes de quantificar o efeito desta variabilidade na fenologia das plantas.

Uma análise dos modelos fenológicos desenvolvidos para culturas perenes permite identificar, de acordo com as etapas do ciclo vegetativo que abordam, dois grupos de modelos (Figura 6):

- i) Modelos que apenas integram informação adquirida após a quebra da dormência, designados *Thermal Time* (Modelo Térmico) ou *Spring Warming* (Aquecimento Primavera) (Hunter and Lechowicz 1992; Cannell and Smith 1983; Robertson 1968).
- ii) Modelos que integram a fase da dormência, sendo as designações mais frequentes:
 - a. *Sequential Model* (Sequencial) (Richardson et al. 1974; Hanninen 1987; Hänninen 1990);
 - b. *Parallel Model* (Paralelo) (Landsberg 1974; Hänninen 1987; Hänninen 1990);
 - c. *Alternating Model* (Alternado) (Murray et al. 1989; Cannell and Smith 1983; Kramer 1994);
 - d. *Unified Model* (Unificado) (Chuine 2000a);
 - e. *Deepening Rest* (Kobayashi et al. 1982);
 - f. *Four Phases Model* (Quatro Fases) (Vegis 1964; Hänninen 1990).

Nos pontos seguintes apresentamos resumidamente cada um destes modelos.

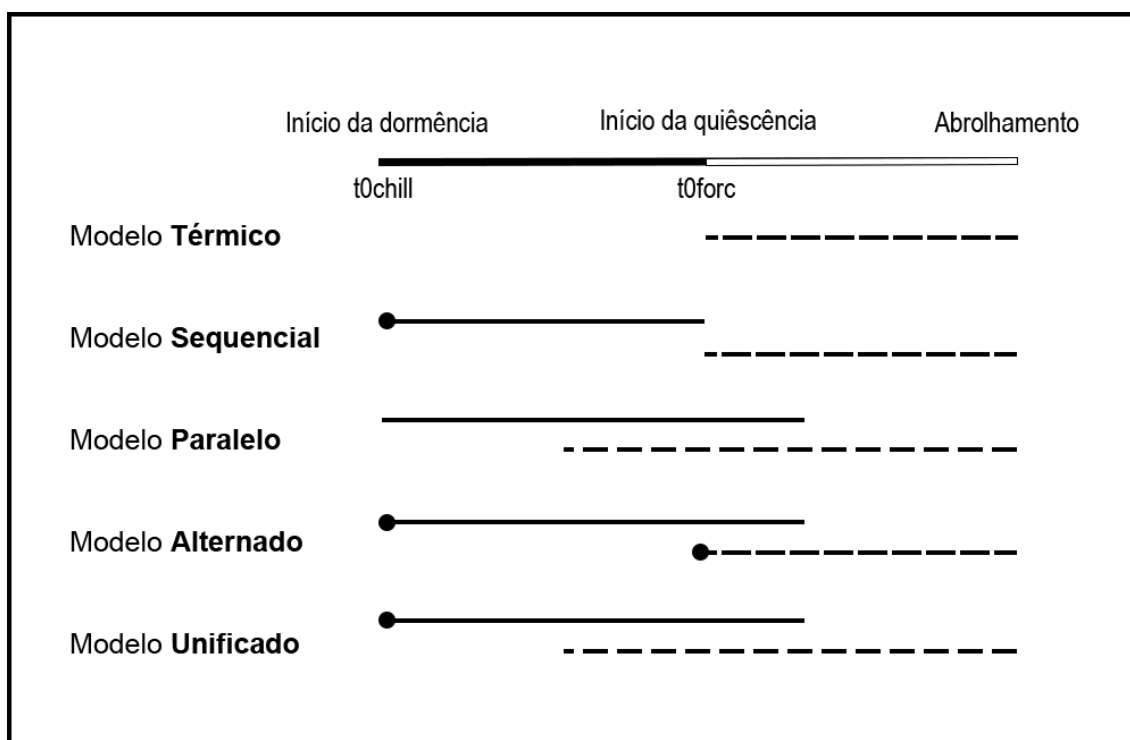


Figura 6 – Diferentes abordagens utilizadas na modelação fenológica, relativo aos períodos de tempo em que os gomos são afetados pela acumulação de unidades de forçagem (linha tracejada) e unidades de frio (linha contínua). Um ponto no início de uma fase indica uma data fixada para o início. Imagem adaptada e traduzida de Chuine (2000a) e Fu et al. (2012).

5.1 Modelo térmico do ciclo vegetativo

Os modelos térmicos que apenas consideram a fase vegetativa do ciclo biológico, baseiam-se no princípio de que um dado estado fenológico ocorre quando um dado valor da soma de temperaturas diárias ou índices equivalentes desde uma data (pré-definida ou variável de acordo com o estado fenológico) atinge um dado valor específico para a variedade.

A contribuição das temperaturas para este somatório pode ser feita de forma direta (linear) ou através de índices definidos de acordo com a eficiência do contributo do nível da temperatura para o desenvolvimento da cultura.

No primeiro caso, o somatório é calculado através de graus dias ou unidades de calor também designadas *Growing Degree Days* (GDD, °C d), i.e. as temperaturas acima de um determinado valor que se designa temperatura de base (t_b). Para a videira a t_b foi durante muito tempo considerada como sendo 10°C, sendo que mais recentemente Parker (2011) propôs a utilização de 0°C como temperatura de base no

cálculo das unidades de calor para esta espécie – e a partir de uma data pré-determinada.

Tabela 2 – Estrutura e representação do Modelo Térmico.

Estrutura do Modelo	Descrição das Variáveis e parâmetros
<u>Fase de Forçagem</u>	
$S_f = \sum_{t_0}^y R_f(x_t)$	Sf – Estado de forçagem
$R_f(x_t)$	Rf – Função de Forçagem
$= \begin{cases} 0 & \text{se } x_t \leq T_{b1} \\ x_t - T_{b1} & \text{se } x_t > T_{b1} \end{cases}$	Tb – Temperatura de Base
Referências	Cannell and Smith 1983; Robertson 1968; Hunter and Lechowicz 1992

O modelo térmico tem algumas limitações tal como descrito originalmente (Tabela 2). Este modelo considera que a contribuição das temperaturas diárias é tanto maior quanto maior a temperatura média diária, porém de um ponto de vista fisiológico sabe-se que temperaturas muito elevadas geralmente são desfavoráveis para o desenvolvimento e o crescimento. Assim, ao longo das últimas décadas foram propostas adaptações deste modelo que procuram atenuar esta insuficiência. Hänninen (1990) propôs a utilização de uma função sigmoide para impedir a sobrestimação da contribuição de temperaturas elevadas, outra alternativa é a utilização de funções como a proposta por Wang e Engel (1998) que consideram o efeito depressivo de temperaturas elevadas no desenvolvimento das culturas. Esta função é assimétrica, pertence à família das funções beta (Yin et al. 1995; Xinyou et al. 1996) e é definida por três parâmetros: temperatura ótima, mínima e máxima de desenvolvimento, tal como representado na figura 7.

A função que calcula as unidades de calor acumuladas em cada dia é denominada por função de forçagem (Rf), enquanto o somatório de unidades é denominado por estado de forçagem (Sf). As Unidades de Forçagem necessárias à ocorrência de um determinado estado é representado por *F,

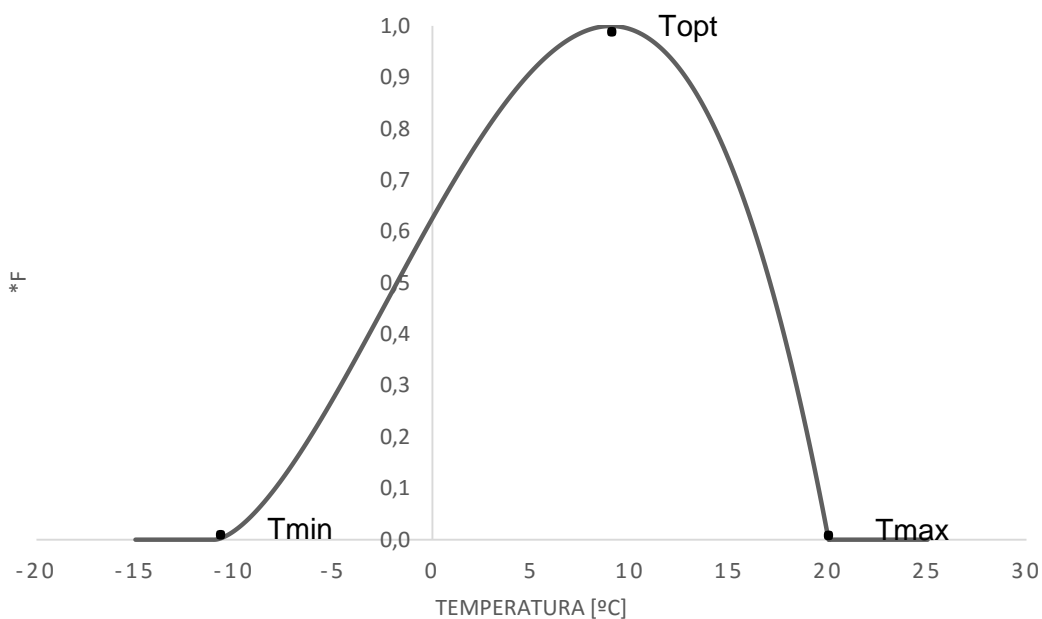


Figura 7 - Função definida por Wang & Engel para descrever o efeito da temperatura diária no desenvolvimento de um ser vivo.

5.2 Modelos térmicos com integração da dormência

Os modelos que incluem a dormência contabilizam o somatório de temperaturas diárias abaixo de um determinado nível (“unidades de frio”) a que a planta deve ser exposta para quebrar a fase da dormência. A função que representa as unidades de frio acumuladas ao longo do ciclo é denominada por função de arrefecimento (R_c), enquanto o somatório de unidades é denominado por estado de arrefecimento (S_f). À quantidade de unidades de frio necessária para a ocorrência da quebra de dormência denomina-se por $^{\circ}C$. Existem vários modelos fenológicos que integram a dormência e que diferem sobretudo na articulação dos efeitos térmicos a fase de dormência e a fase vegetativa do ciclo da planta (Figura 6).

O **modelo alternado** (Tabela 3) considera que a acumulação de unidades de calor é calculada da mesma forma que no modelo térmico, estando a data de início do modelo estabelecida a 1 de Janeiro. Por outro lado o valor de unidades de frio acumuladas é igual ao número de dias a partir de 1 de Novembro, com a temperatura média inferior a uma temperatura de base determinada para cada espécie (Murray et al. 1989; Kramer 1994; Fu et al. 2012; Cannell and Smith 1983).

Tabela 3 - Estrutura e representação do Modelo Alternado

Estrutura do Modelo	Descrição das Variáveis e Parâmetros
<p><u>Fase da Quebra da Dormência</u></p> $R_c(D) = \begin{cases} 0 & \text{se } T(D) \geq T_c \\ 1 & \text{se } T(D) < T_c \end{cases}$ $F(D) = f_a + f_b * e^{-f_c \sum_{t_0}^D R_c}$	<p>Rc (D) – Taxa da Quebra de Dormência F*(D) – Unidades de forçagem (Dependente da Taxa da Quebra da Dormência) fa, fb, fc – Parâmetros da função exponencial negativa, que controla o estado da forçagem em função do estado da quebra de dormência t0 – Data inicial do modelo T(D) – Temperatura média diária Tc – Temperatura crítica</p>
<u>Fase de Forçagem</u>	Igual ao Modelo Sigmoid
Referência	Murray, Cannell, and Smith 1989; Kramer 1994; Cannell and Smith 1983

O **modelo sequencial** (Tabela 4) também é semelhante ao modelo térmico, no que diz respeito à contabilização das unidades de forçagem, porém esta acumulação só se inicia após a cultura estar exposta a um determinado número de unidades de frio que é contabilizada a partir de uma determinada data, normalmente 1 de Novembro (t0 Chill). A acumulação das unidades de frio (Rc) é definida pela função triangular de Hänninen (Hänninen 1990) enquanto a acumulação de unidades de calor é calculada da mesma forma que no modelo térmico (Hanninen 1987; Richardson et al. 1974).

Tabela 4 – Estrutura e representação do Modelo Sequencial

Estrutura do Modelo	Descrição das Variáveis e Parâmetros
<p><u>Fase da Quebra da Dormência</u></p> $R_c(D) = \begin{cases} 0 & \text{se } T(D) \leq T_{min} \\ \frac{T - T_{min}}{T_{opt} - T_{min}} & \text{se } T_{min} < T(D) \leq T_{opt} \\ \frac{T - T_{max}}{T_{opt} - T_{max}} & \text{se } T_{opt} < T(D) \leq T_{max} \\ 0 & \text{se } T(D) \geq T_{max} \end{cases}$	<p>Rc – Taxa da Quebra de dormência Sc – Estado da Quebra de dormência Topt – Temperatura ótima para a quebra de dormência Tmax – Temperatura máxima para a quebra de dormência Tmin – Temperatura mínima para a quebra de dormência</p>
<p><u>Fase da Forçagem</u></p> $R_f(D) = \begin{cases} 0 & \text{se } Sc \leq C * \\ a & \text{se } Sc \geq C * \end{cases}$	<p>Rf – Taxa da forçagem Sc – Estado da Quebra da dormência “a”, “d” e “e” – Parametros da função de forçagem (Sigmoid) C* – Unidades de frio necessárias à quebra da dormência T(D) – Temperatura média diária</p>
Referência	Hanninen 1987; Hänninen 1990; Richardson, Seeley, and Walker 1974

No **modelo paralelo** (Tabela 5) a acumulação das unidades de frio é feita à semelhança do modelo sequencial, com o recurso à função triangular, já a acumulação de unidades de calor é feita através de uma função adaptada do modelo térmico. Este modelo pressupõe que a acumulação de unidades de calor pode acontecer em

simultâneo com a acumulação de horas de frio (Landsberg 1974; Hänninen 1990; Hänninen 1987). Denomina-se a data de início da acumulação de unidades de frio t_0 Chill e a data de início da acumulação de unidades de calor t_0 Forc.

Tabela 5 – Estrutura e representação do Modelo Paralelo.

Estrutura do Modelo	Descrição das Variáveis e Parâmetros
<u>Fase de Quebra de Dormência</u> Igual ao Modelo Sequencial	Rf – Taxa da forçagem “a”, “d” e “e” – Parametros da função de forçagem (Sigmoid)
<u>Fase da Forçagem</u> $R_f(D) = \begin{cases} 0 & \text{se } D < t_0 \text{ Forc} \\ k * \frac{a}{1 + e^{-d(T(D)-e)}} & \text{se } D \geq t_0 \text{ Forc} \end{cases}$ $k = \begin{cases} K_m + \frac{1 - K_m}{C^*} S_c & \text{se } S_c < C^* \\ 1 & \text{se } S_c \geq C^* \end{cases}$	k – Parâmetro que estabelece a relação entre a taxa de forçagem e o estado da quebra da dormência km – Parametro específico do modelo paralelo Sc – Estado da Quebra de dormência. C* - Unidades de frio necessárias à quebra da dormência T(D) – Temperatura diária t_0 Forc – Data de início da acumulação de unidades de calor D – Dia do ano
Referência	Landsberg 1974; Hänninen 1990; Hanninen 1987

De forma a combinar a acumulação de unidades de frio e de calor numa só equação, Chuine (2000b) desenvolveu o **modelo unificado** (Tabela 6). Este modelo inicia a contagem das unidades de frio a 1 de Setembro, e inicia a contagem de unidades de calor quando um determinado valor – Parâmetro C^* – é atingido.

Tabela 6 - Estrutura e representação do Modelo Unificado.

Estrutura do Modelo	Descrição das Variáveis e Parâmetros
<u>Fase da Quebra de Dormência e da Forçagem</u> $\frac{1}{1 + e^{a(T-c)^2 + b(T-c)}} = \begin{cases} R_c(D) & \text{se } a = C_a \text{ e } b = C_b \text{ e } c = C_c \\ R_f(D) & \text{se } a = 0 \text{ e } b = F_b \text{ e } c = F_c \end{cases}$ $F(D) = \omega * e^{-k \sum_{t_1}^{t_2} R_c}$	Ca, Cb, Cc – Parâmetros da taxa da quebra da dormência Fb, Fc – Parâmetros da taxa da forçagem t1c – Data de início da acumulação de unidades de frio t2c – Data de início da acumulação de unidades de forçagem k, w – Parâmetros da função exponencial para a caraterização da taxa de forçagem
Referência	Chuine 2000

Proposto por Kobayashi (Kobayashi et al. 1982), o modelo **Deepening Rest** (Tabela 7) propõe uma divisão da dormência em duas fases. Na primeira fase, a taxa de crescimento diminui com o aumento do frio acumulado, a esta fase denomina-se Deepening Rest – Dormência Profunda, numa tradução livre da nomenclatura definida pelo autor. Esta fase termina quando é atingido um mínimo da denominada competência de crescimento. Durante o restante período de dormência há um aumento da

competência de crescimento em função das unidades de frias acumuladas, contribuindo estas para que possa ser atingido um potencial máximo de crescimento.

Tabela 7 – Estrutura e representação do Modelo Deepening Rest

Estrutura do Modelo	Descrição das Variáveis e Parâmetros
<p><u>Fase da Dormência e Fase da Forçagem</u></p> $C(t) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{1 - C_{min}}{CU_{dr}} \right) * S_{chl}(t) & S_{chl}(t) < CU_{dr} \\ C_{min} + \left(\frac{1 - C_{min}}{CU_{crit} - CU_{dr}} \right) * (S_{chl}(t) - CU_{dr}) & CU_{dr} \leq S_{chl}(t) < CU_{crit} \\ 1 & S_{chl}(t) \geq CU_{dr} \end{cases}$	<p>Schl – Estado da Quebra de dormência Cmin – Valor mínimo da competência de crescimento CUdr – Unidades de frio necessárias para que seja ocorra um período de <i>deepening rest</i> CUcrit – Unidades de frio necessárias para que ocorra a quebra de dormência</p>
Referência	Kobayashi et al. 1982

O modelo **Quatro fases** (Talela 8) pressupõe uma relação entre o estado da acumulação de unidades de frio e das unidades de calor como função da Competência de Crescimento. Este modelo define uma fase de pré-dormência e outra de pós-dormência durante as quais há uma total competência de crescimento a partir de uma determinada temperatura limiar. Durante a fase definida por verdadeira dormência não há qualquer competência de crescimento independentemente da temperatura de forçagem concomitante a este período (Vegis 1964; Hänninen 1990).

Tabela 8 - Estrutura e representação do Modelo Quatro Fases.

Estrutura do Modelo	Descrição das Variáveis e Parâmetros
<p><u>Fase da Dormência e Fase da Forçagem</u></p> $C(t) = \begin{cases} 1, & S_{chl}(t) < CU_{tr}, T(t) > T_{trh}(t) \\ 0, & S_{chl}(t) < CU_{tr}, T(t) \leq T_{trh}(t) \\ 0, & CU_{tr} \leq S_{chl}(t) < CU_{pr}, \\ 0, & CU_{pr} \leq S_{chl}(t) < CU_{crit}, T(t) \leq T_{trh}(t) \\ 1 & CU_{pr} \leq S_{chl}(t) < CU_{crit}, T(t) > T_{trh}(t) \\ 1, & S_{chl}(t) \geq CU_{crit} \end{cases}$	<p>Schl – Estado da Quebra de dormência CUtr - Unidades de frio necessárias para a verdadeira dormência (<i>true rest</i>) CUpr - Unidades de frio necessárias para o período de pós dormência CUcrit – Unidades de frio necessárias para que seja ocorra a quebra de dormência. Ttrh – Temperatura limite para que seja atingida a competência total de crescimento durante as fases de pré e pós dormência.</p>
Referência	Vegis 1964; Hänninen 1990

Para além da divisão dos modelos em modelos que não incluem a dormência (Modelos Térmicos) e modelos que incluem a dormência (Modelo Sequencial, Modelo Paralelo, Modelo Alternado, Deepening Rest e Quatro Fases), é possível agrupar os segundos pela relação entre as fases de acumulação de unidades de frio e de acumulação de unidades de calor. Desta forma o modelo Paralelo, Deepening Rest e Quatro Fases consideram que estas duas fases podem ser simultâneas, enquanto os modelos Alternado e Sequencial não permitem essa concomitância entre fases.

Todos estes modelos podem ainda ser caracterizados quanto à metodologia de desenvolvimento. Estes podem ter uma origem em simulações ecofisiológicas, estatística e/ou mecanicista.

Os modelos de simulações baseiam-se em relações fisiológicas entre o desenvolvimento foliar, a interceção da radiação e outros órgãos e a aquisição de recursos. Os modelos estatísticos por outro lado procuram através de ferramentas estatísticas ajustar os seus parâmetros de forma a relacionar eventos fenológicos aos dados climáticos existentes, sendo que este processo não é necessariamente restringido por conhecimento teórico, sendo que estes modelos podem ser mais ou menos mecanicistas, isto porque os modelos mecanicistas diferenciam-se por ser modelos que procuram evidenciar as relações de causa efeito entre desenvolvimento e o meio envolvente baseados em informações bem conhecidas e descritas, exemplo disso são modelos que integram a temperatura de zero vegetativo, a temperatura a partir da qual o calor disponível não contribui para o desenvolvimento de uma cultura (Schwartz 2003).

6. Algoritmos de Otimização

O processo de desenvolvimento de modelos pressupõe que os seus parâmetros sejam robustamente estimados na fase de parametrização e posteriormente validados para permitir a sua utilização numa ampla gama de contextos. No entanto estes nem sempre apresentam a robustez necessária para serem utilizados em condições diferentes.

O processo de parametrização dos modelos pode ser efetuada por vários processos. Computacionalmente este problema vem sendo discutido e resolvido com o recurso aos denominados algoritmos de otimização (Talbi 2009). Estes algoritmos partindo de conjunto infinito de soluções para um problema, procuram definir os parâmetros que resultam numa melhor solução para o problema proposto.

A avaliação do resultado das parametrizações obtidas com estes algoritmos é realizada através do método estatístico dos mínimos quadrados. Este, procura encontrar o conjunto de soluções que minimiza a soma do quadrado dos resíduos, sendo que os resíduos são a diferença entre os resultados observados e os resultados estimados (Chai and Draxler 2014; Chuine et al. 1998).

Os algoritmos de otimização podem ser divididos e organizados em diferentes tipos: “Modelos de Solução Única” e “Modelos Baseados em Populações” (Talbi 2009).

Nos modelos de solução única, o processo de otimização consiste, de uma forma simplista, na busca da melhor solução dentro do espaço amostral de soluções, através de um processo iterativo. Exemplos deste tipo de abordagem são o *Local Search*, *Tabu Search*, *Downhill* ou o *Simulated Annealing*. Nos modelos de otimização baseados em populações decorre um processo também iterativo mas em constante melhoria, isto é “gerações” de populações de soluções sucedem-se até que um critério pré-definido seja satisfeito. Os Algoritmos Evolucionários, o *Particle Swarm* ou o *Bee Colony* (Talbi 2009).

Neste trabalho será utilizado o *Simulated Annealing* e como tal este será mais pormenorizadamente descrito na secção seguinte.

6.1 Simulated Annealing

No contexto agrícola, é recorrente a resolução de problemas baseados na utilização de métodos de otimização (Behmann et al. 2014; Brown et al. 2010; Mayer et al. 1998; Georgiou and Papamichail 2008) entre os quais se destaca a parametrização de modelos fenológicos.

No âmbito dos modelos fenológicos, Chuine (1998) propôs a utilização do algoritmo *Simulated Annealing* – SA – desenvolvido por Metropolis (1953) no processo de estimação de parâmetros para quatro modelos fenológicos – *Thermal Time*,

Sequential, Parallel e Alternating – para árvores e arbustos de climas temperados. A utilização deste algoritmo teve como objetivo melhorar a capacidade preditiva destes modelos quando utilizados com dados externos.

O SA é baseado em estudos na dinâmica do processo de arrefecimento de metais. Partindo da temperatura do estado líquida dos metais, a sua velocidade de arrefecimento vai influenciar a estrutura cristalina e consequentemente, a dureza e estabilidade do material arrefecido. Um arrefecimento com uma temperatura inicial insuficiente, ou demasiado rápido resulta na formação de um metal instável, pouco resistente e com defeitos. Neste contexto, o SA foi utilizado para otimizar o processo de arrefecimento de metais com a obtenção de determinadas propriedades.

Este algoritmo minimiza um problema vulgar deste tipo de heurísticas, a convergência a ótimos locais, i.e. em algoritmos como por exemplo o Algoritmo Downhill. Quando o algoritmo encontra uma solução superior às soluções contíguas este assume ter encontrado a solução ótima para a resolução do problema, porém este pode ser um ótimo local e não um ótimo global. No SA, o algoritmo inicialmente está predisposto a descartar soluções potencialmente ótimas dando saltos no espaço amostral de soluções à procura de novos ótimos. Com o passar do tempo esta predisposição diminui convergindo um modelo para as soluções mais eficazes (Chuine, et al. 1998).

7. Software para modelização fenológica

Na sequência do trabalho desenvolvido por Chuine (Chuine et al. 1998) na parametrização de modelos fenológicos com recurso ao SA para árvores de zonas temperadas, foi desenvolvido o *software Phenology Modelling Platform* (PMP) (Schwartz 2003).

Esta ferramenta permite a parametrização de modelos fenológicos e foi desenvolvida pelo *Centre d'Ecologie Fonctionnelle & Evolutive*. A parametrização pode ser feita para uma vasta biblioteca de modelos disponibilizada pelo *software* e permite ainda a criação de novos modelos. Para além da estimação de parâmetros, este *software* também permite a validação de um modelo com um conjunto de dados externos. Esta validação é de grande importância para testar a portabilidade de modelos (Chuine 2013).

Apesar da elevada configurabilidade do PMP, este apresenta algumas limitações ao nível da ambiente gráfico de utilização (Figura 8), nomeadamente a impossibilidade de alterar os intervalos em que o algoritmo de otimização realiza a busca pelo óptimo da função.

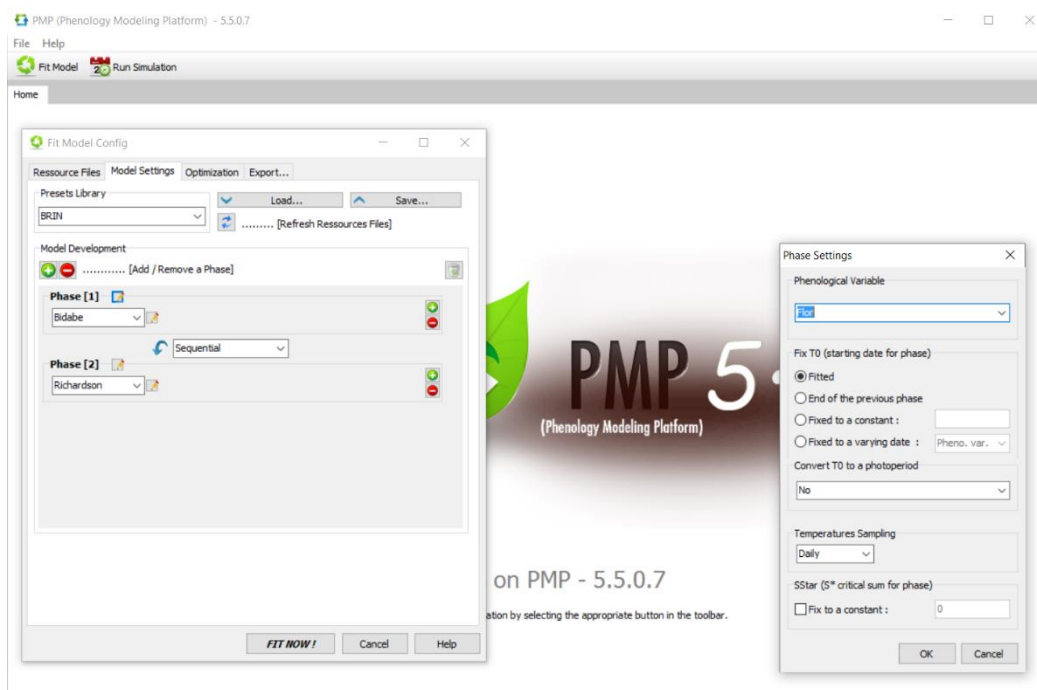


Figura 8 - Ambiente gráfico de utilização do Phenology Modelling Platform.

8. Sistema de Informação Geográfica e Sensores Metereológicos

Para que sejam parametrizados e posteriormente calculados, os modelos fenológicos necessitam de dados meteorológicos robustos e representativos dos locais onde são realizadas as observações fenológicas. Estes dados podem ser recolhidos localmente através de estações meteorológicas, porém é frequente que não existam dados meteorológicos representativos de cada local (Cruz Blanco 2014).

A região do Douro, por exemplo, é caracterizada por uma topografia acentuada, responsável pela existência de microclimas localizados e diversificados. Nesta região 32000 viticultores trabalham cerca de 30% da área disponível, com uma área média de produção de aproximadamente 1 ha. Esta estrutura torna inviável a aquisição de estações meteorológicas próprias, enquanto a rede regional de estações meteorológica é insuficientemente densa (Cunha 2010).

Neste contexto surgem alternativas que propõe solucionar o problema apresentado. Ao longo das últimas duas décadas verificou-se um grande desenvolvimento nas áreas da computação, dos sistemas de posicionamento global (GPS) e da sensorização com o recurso a satélites (deteção remota) (Turner et al 2003). A convergência destas áreas permitiu o desenvolvimento dos GIS que permitiram o processamento e organização de quantidades elevadas de dados que de outra forma seriam de difícil interpretação.

Estes sistemas constituem atualmente uma das ferramentas mais eficientes e mais económicas para o estudo da influência do clima nos seres vivos, para áreas como a agricultura, ecologia e ambiente (Berjón et al. 2013). Diversos trabalhos tem sido desenvolvidos com o recurso a estas tecnologias, e hoje já é possível para além da medição de parâmetros climáticos como a temperatura, também a medição de propriedades biofísicas das plantas, sejam estas estruturais (como a área foliar ou o angulo de exposição das folhas) ou óticas (para pigmentos ou matéria seca) (Berjón et al. 2013).

A informação recolhida através de satélite pode ter uma resolução espacial de 25 km podendo ser melhorada através de métodos de interpolação com o recurso a modelos digitais de terreno, com isso atingindo-se resoluções de até 30 m (Anderson et al. 2004). Esta tecnologia tem sido muito utilizada sobretudo na estimação das necessidades hídricas das culturas (Bhattacharya et al. 2010; Group 2007; Cristóbal et al. 2011; Pôças et al. 2014; Cruz Blanco 2014).

Esta tecnologia é particularmente importante no contexto da modelação fenológica ao facilitar a análise de grandes quantidades de dados, geograficamente referenciados facilitando assim o processo de validação e interpretação dos resultados obtidos.

III. Material e métodos

1. Local de estudo

Este trabalho dedica-se à modelação fenológica em 4 das principais regiões vitivinícolas nacionais, a Região dos Vinhos Verdes, do Douro, do Alentejo e de Dois Portos (Figura 9).



Figura 9 – Mapas das regiões vitivinícolas portuguesas.

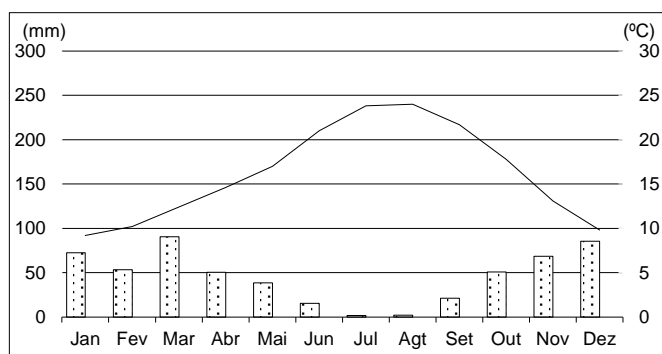
Na Região do Alentejo foram utilizados dados de dois locais, a primeira série proveniente da CARMIM – Cooperativa Agrícola de Reguengos de Monsaraz, enquanto a segunda série diz respeito à Estação de Avisos do Baixo Alentejo, localizada na vila de Redondo em Évora.

Para a região do Douro foram utilizadas duas séries meteorológicas e duas fenológicas. Foram utilizadas séries adquiridas na Quinta do Valmor, localizada em Armamar e pertencente ao grupo Subvidouro e na Quinta da Cavadinha pertencente ao grupo *Warre's*, Symington, localizada no Pinhão.

Na Região dos Vinhos Verdes foram utilizadas duas séries, uma adquirida em Arcos de Valdevez no campo experimental da Estação Vitivinícola Amândio Galhano, e em Felgueiras na Estação Experimental de Fruticultura da Quinta de Sergude. Por fim

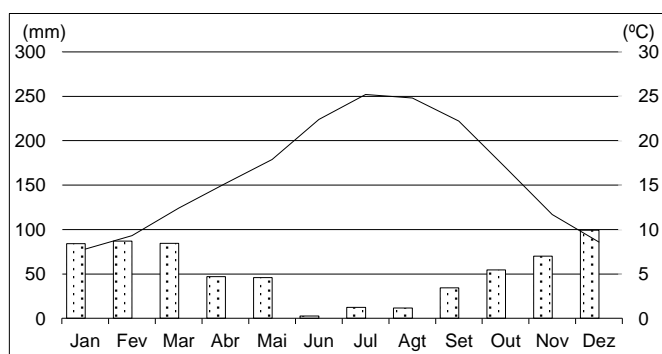
foi ainda utilizada uma série de Torres Vedras na região de Dois Portos, relativa à Quinta dos Almoinha que pertence ao INIAV – Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária.

Para caracterizar agroclimaticamente estes locais (Figura 10) foram utilizadas médias calculadas com recurso a séries meteorológicas de 30 anos (1931 e 1960), publicadas no fascículo XIII do Instituto Nacional de Meteorologia “O Clima de Portugal: normais climatológicas” (Ferreira 1970). Utilizaram-se os dados recolhidos numa estação em Beja para representar o clima da Região do Alentejo; para a Região do Douro dados de uma estação no Pinhão; para a Região de Torres Vedras dados de Lisboa (Ajuda) e por fim para caracterizar a Região dos Vinhos Verdes, dada a dimensão desta região, foram utilizados dados de estações meteorológicas localizadas em Santo Tirso e em Viana do Castelo.



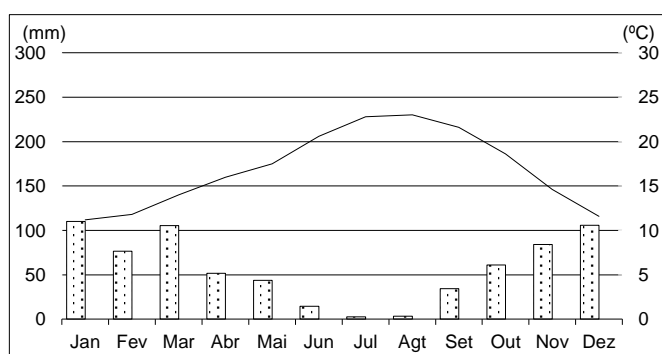
Beja - Alentejo

A temperatura média mensal mais baixa durante o ano em Beja verificam-se durante o mês de Janeiro, atingindo os 9°C, enquanto as temperaturas máximas médias mais altas ocorrem nos meses de Julho e Agosto atingindo os 24°C.



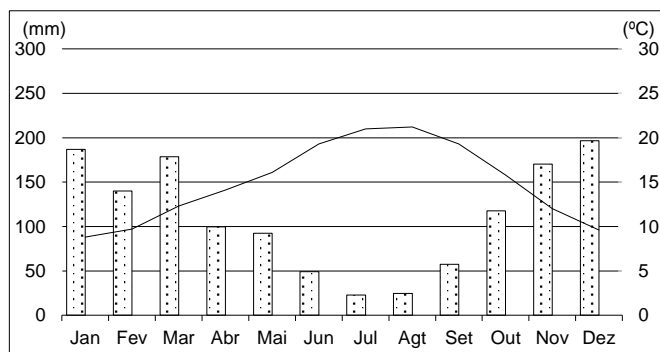
Pinhão - Douro

Na freguesia de Pinhão encontra-se o local com maior amplitude térmica ao longo do ano de entre as estações estudadas. Durante o Inverno em Janeiro a temperatura média mensal é inferior a 8°C, enquanto em Julho a temperatura média mensal atinge os 25°C.



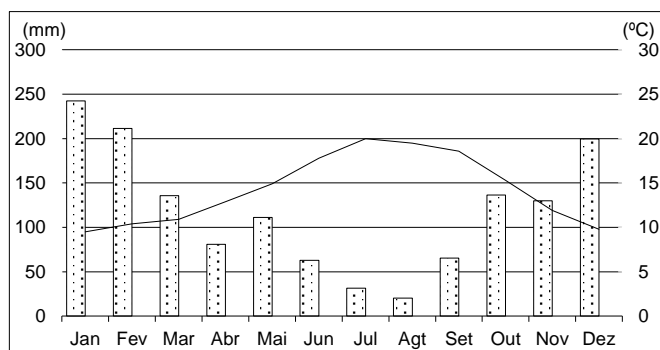
Lisboa - Torres Vedras

Em Lisboa, a temperatura média mensal varia entre os 11°C, em Janeiro, e os 23°C nos meses de Julho e Agosto.



Santo Tirso – Vinhos Verdes

Na cidade Santo Tirso a temperatura média mensal mais baixa ocorre em Janeiro e é de 9°C sendo que a temperatura média mensal mais alta é de 21°C em Julho e Agosto.

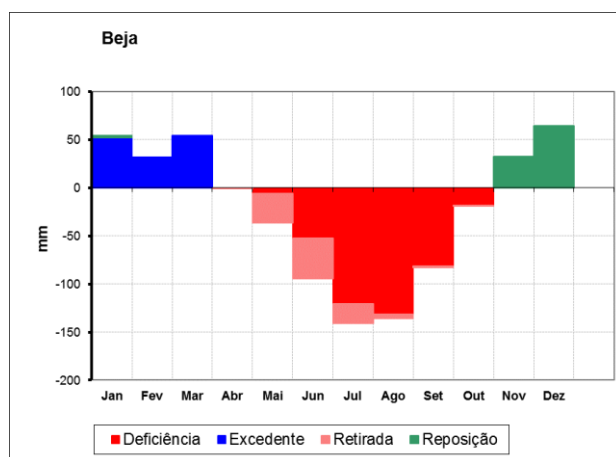


Viana do Castelo – Vinhos Verdes

Verifica-se em Viana do Castelo a amplitude térmica mensal mais baixa de entre todos os locais estudados. A temperatura média mensal mais baixa ocorre nos meses de Janeiro e Dezembro e é de aproximadamente 10°C, a temperatura média mensal mais alta ocorre em Julho e é de 20°C.

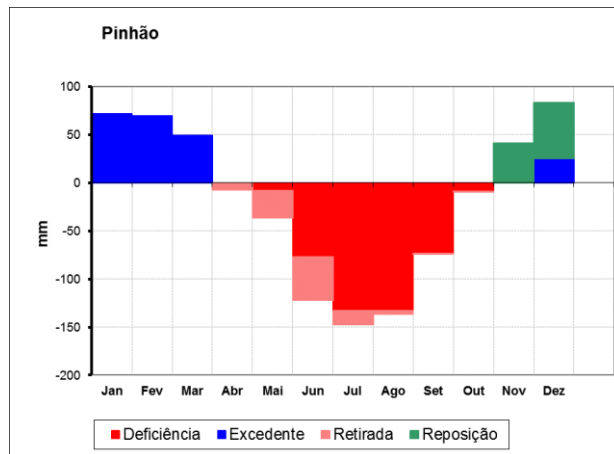
Figura 10 - Climatogramas com as temperaturas médias mensais e a pluviosidade média mensal calculadas com base na média de dados durante 30 anos. Fonte: IPMA (1970)

Com base no método Thornthwaite da evapotranspiração potencial (Thornthwaite 1957), estimou-se o balanço hídrico no solo para cada um dos locais de estudo, sendo que esta estimativa é apresentada na figura 11. Para este cálculo foi considerada uma capacidade de retenção do solo igual a 100mm.



Beja – Alentejo

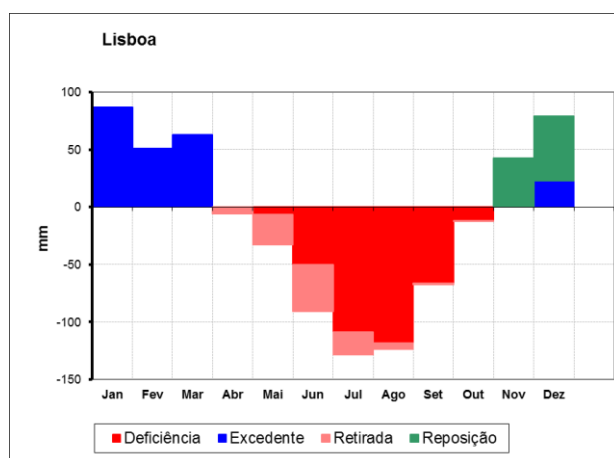
Precipitação média anual: 549 mm
Défice de água alargado entre os meses de Maio e Outubro. Com reposição durante os meses de Novembro, Dezembro e Janeiro.



Pinhão – Douro

Precipitação média anual: 633 mm

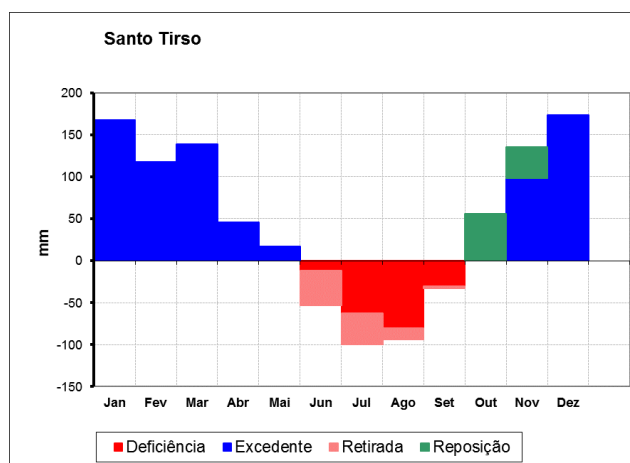
Défice hídrico entre os meses de Maio e Novembro, com reposição da água durante os meses de Novembro e Dezembro.



Lisboa – Torres Vedras

Precipitação média anual: 694 mm

Défice hídrico entre os meses de Maio e Novembro, com reposição da água durante os meses de Novembro e Dezembro. Verifica-se uma acumulação significativa de água durante os primeiros três meses do ano.

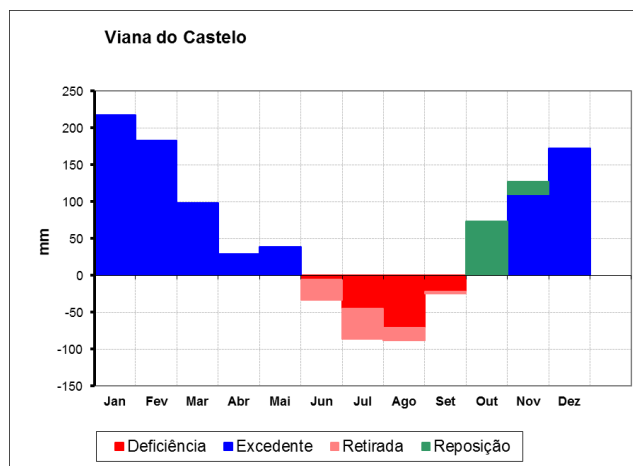


Santo Tirso – Vinhos Verdes

Precipitação média anual: 1366 mm

Défice hídrico entre os meses de Junho e Setembro, com reposição da água durante os meses de Outubro e Novembro.

Verifica-se uma acumulação significativa de água durante os primeiros três meses do ano.



Viana do Castelo – Vinhos Verdes

Precipitação média anual: 1427 mm

Défice hídrico reduzido entre os meses de Junho e Setembro, com reposição da água durante os meses de Outubro e Novembro.

Verifica-se uma acumulação significativa de água durante os primeiros três meses do ano.

Figura 11 – Variação anual dos fluxos de água no solo para cálculo do balanço hídrico no solo, tendo em consideração uma capacidade de reserva de água no solo de 100 mm. Cálculos realizados com recurso à média de dados durante 30 anos. Fonte: IPMA (1970)

Na figura 12 apresentam-se as horas de frio acumuladas em Portugal para o ano de 2014. Em termos de regiões de produção vitivinícola, observam-se totais que variam entre as 750 e as 2500 horas de frio – horas com temperaturas inferiores a 7,2°C – sendo que a região dos Vinhos Verdes é aquela que apresenta uma maior acumulação de horas de frio e a Região do Alentejo e de Dois Portos aquelas que apresentam uma menor acumulação.

Do ponto de vista da acumulação de graus dia, com base de 3,5°C, a Região do Alentejo é aquela que mais unidades de calor acumula, atingindo valores superiores a 2000 graus dia, os quais também podem ser atingidos na Região do Douro Superior. A Região dos Vinhos Verdes por outro lado apresenta totais inferiores a 1500 graus dia.

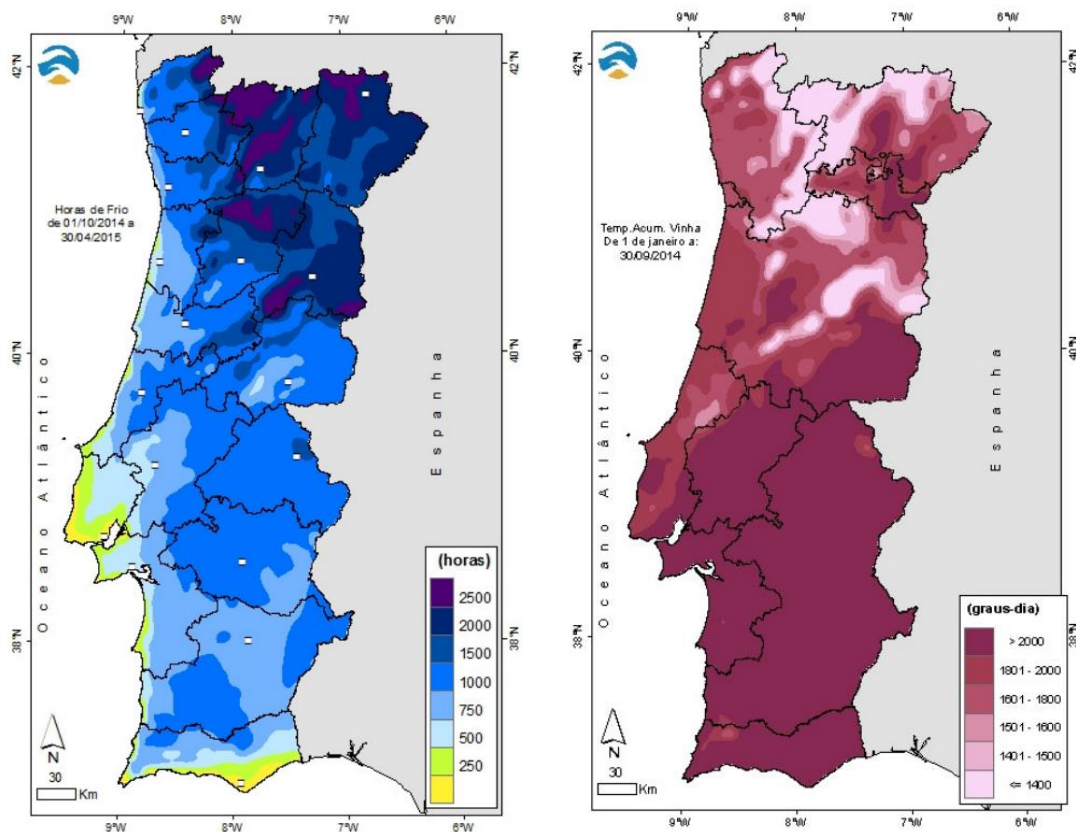


Figura 12 - Na esquerda apresenta-se a distribuição em Portugal Continental do somatório de horas de frio (inferiores a $7,2^{\circ}\text{C}$) entre 1 de Outubro de 2015 e 30 de Abril de 2015. Na esquerda é apresentado o somatório de Graus Dias com base $3,5^{\circ}\text{C}$ entre 1 de Janeiro

2. Bases de Dados

Para que seja possível a parametrização e consequente criação de novos modelos fenológicos é indispensável a existência de bases de dados de observações meteorológicas e fenológicas suficientemente longas e precisas que assegurem um eficiente processo de parametrização. No presente subcapítulo caracterizam-se os dados reunidos para este trabalho.

2.1 Bases de Dados meteorológicos

Foram utilizados dados meteorológicos recolhidos por estações meteorológicas automáticas, na parcela ou nas proximidades da parcela onde foram realizadas as observações meteorológicas e que correspondem a dados da temperatura média diária. Em alguns casos foram ainda disponibilizadas a temperatura máxima e mínima diária assim como a precipitação. A temperatura máxima e temperatura mínima permitem que o *software* PMP simule a variação da temperatura ao longo do dia aumentando a eficácia da estimação de unidades de calor, porém optou-se neste trabalho não utilizar este método por ser particularmente intensivo do ponto de vista computacional o que dificulta a sua utilização para um conjunto tão extensivo de dados.

Quando foram encontradas falhas nos dados meteorológicos utilizados, foi calculada a média entre a leitura anterior e a leitura posterior à falha. Este método foi utilizado para falhas de até 5 dias consecutivos, sendo que para falhas superiores a um dia foi considerada um aumento ou diminuição diária da temperatura igual à razão entre o diferencial das temperaturas e o número de dias sem dados. Para falhas superiores a 5 dias foi realizada uma média das temperaturas para o dia em falta ao longo da série temporal considerada.

2.2 Bases de Dados fenológicos

Neste estudo foi utilizada a escala fenológica proposta por Baggiolini (1952) apresentada na figura 13. Os registos fenológicos disponibilizados variaram com o local sendo que foram disponibilizados dados para os estados fenológicos:

- D (Saída das folhas, definida como o momento do Abrolhamento);
- I (Floração);
- M (Pintor);
- N (Maturação).

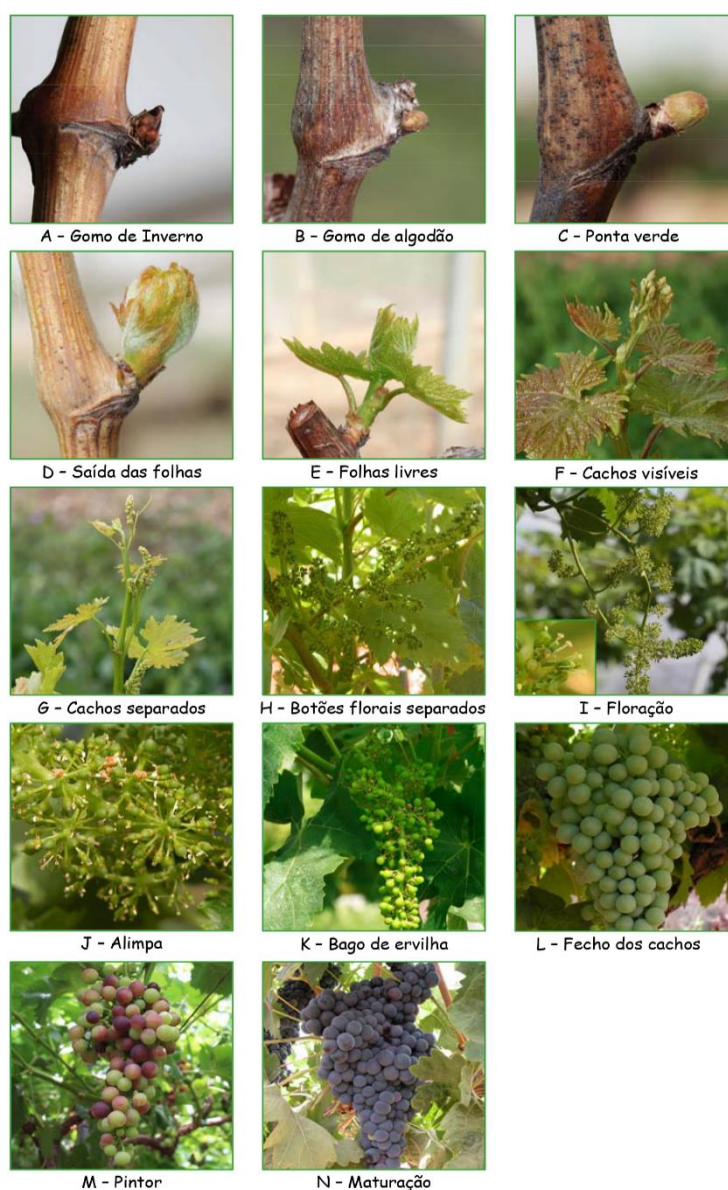


Figura 13 - Escala de Baggiolini segundo a Estação de Avisos Agrícolas da Direção Regional de Agricultura do Algarve.

Na tabela 9, apresentam-se as séries fenológicas utilizadas. Nesta tabela as séries são organizadas por variedade, de forma a apresentar o potencial de validação intra e inter-regional. São ainda descritos quais estados foram disponibilizados para cada local.

Tabela 9 – Tabela resumo das séries temporais de observações fenológicas recolhidas para a presente trabalho. D – Estado fenológico “Saída das folhas” – Abrolhamento; I – Floração; J; M – Pintor e N – Maturação/Vindima. Com “x” assinala-se se cada estado fenológico está disponível no respetivo local.

Variedade	Região	Local	(D)	(I)	(M)	(N)	Intervalo	# Anos
Alvarinho	Vinhos Verdes	EVAG	x	x	X		1990-2013	24
Borraçal	Vinhos Verdes	EVAG	x	x	X		1990-2013	24
Castelão	Alentejo	Reguengos	x	x	X	x	1991-2008	17
		Redondo	x	x	X		1998-2007	9
	Torres Vedras	Dois Portos	x	x	X	x	1990-2013	24
Chasselas	Vinhos Verdes	EVAG	x	x	X		2007-2013	7
	Torres Vedras	Dois Portos	x	x	X	x	1990-2013	24
Fernão Pires	Vinhos Verdes	EVAG	x	x	X		1990-2013	24
	Torres Vedras	Dois Portos	x	x	X	x	1990-2013	24
	Alentejo	Redondo	x	x			1991-2002	11
Loureiro	Vinhos Verdes	EVAG	x	x	X		1990-2013	24
		Sergude		x			1993-2007	14
Moreto	Alentejo	Reguengos	x	x	X	x	1998-2007	9
		Redondo	x	x			1991-2005	14
Pederna	Vinhos Verdes	Sergude		x			1993-2007	14
Tinta Amarela	Douro	Valmor	x	x			1989-2005	16
Tinta Barroca	Douro	Valmor	x	x			1989-2008	19
		Cavadinha	x	x	X		2002-2011	9
	Torres Vedras	Dois Portos	x	x	X	x	1994-2013	19
Tinta Roriz	Alentejo	Reguengos	x	x	X	x	1998-2007	9
		Redondo	x	x			1991-2008	17
	Douro	Valmor	x	x			1989-2008	19
		Cavadinha	x	x	X		2002-2011	9
Touriga Francesa	Douro	Valmor	x	x			1989-2008	19
		Cavadinha	x	x	X		2002-2011	9
Touriga Nacional	Douro	Valmor	x	x			1989-2008	19
		Cavadinha	x	x	X		2002-2011	9
	Torres Vedras	Dois Portos	x	x	X	x	1990-2000 & 2006-2013	17
Vinhão	Vinhos Verdes	EVAG	x	x	X		1990-2013	24

De entre os dados disponibilizados foram utilizados os dados do abrolhamento, da floração e do pintor pela importância que estes estados adquirem no planeamento

das atividades do produtor agrícola. A data do abrolhamento permite avaliar a precocidade ou atraso do desenvolvimento das culturas permitindo determinar o risco da cultura ser afetada por geadas tardia. A data da floração é importante por constituir uma primeira estimativa da data de colheita, sendo também um estado fenológico muito relacionado com práticas culturais como a despona, a rega e a fertilização. A data do pintor, por sua vez, é importante pela sua proximidade com a data de colheita.

Foram também desenvolvidos modelos para prever a data de maturação sempre que os dados disponíveis o permitiram.

Distinguem-se diferentes conceitos quando se fala em maturação. A maturação comercial está associada ao potencial alcoólico e à estratégia de vinificação escolhida. Normalmente considera-se que é atingida a maturação no momento em que são atingidos os 11º Baumé. A maturação fisiológica ocorre quando as grainhas são capazes de germinar.

Neste trabalho utilizaram-se dados de dois locais onde se recorreram a diferentes critérios para a determinação da maturação. Na EVAG o estado de maturação foi definido pelo momento em que se atinge o coeficiente angular, i.e. o momento em que ocorre um equilíbrio entre a acidez e o açúcar disponível no bago (Pereira 1994), já na Estação Vitivinícola de Dois Portos foi considerada a data de maturação através do Grau Baumé (11º).

Uma particularidade entre os dados recebidos, é que os dados disponíveis para a Quinta da Cavadinha se apresentam divididos não só por variedade mas também por porta-enxerto. Assim, para as variedades disponíveis (Tabela 9), existe a informação para os seguintes porta-enxertos: PE 196-17; PE R110; PE R.Lot.

3. Desenvolvimento de modelos fenológicos

Em primeiro lugar foi realizada uma pré-seleção de modelos fenológicos tendo em consideração a bibliografia. Posteriormente realizaram-se parametrizações preliminares com o intuito de reduzir o número de modelos a testar para a totalidade dos dados disponíveis por região e variedade. Através das parametrizações preliminares selecionaram-se os modelos mais adequados do ponto de vista operacional e do ponto de vista estatístico. Os melhores modelos foram testados quanto à sua portabilidade, i.e. foi realizada a validação intra e inter-regional dos modelos criados conforme será explicado nos seguintes capítulos.

3.1 Seleção dos modelos

Dada a quantidade de séries reunidas para este trabalho, foi necessário fazer uma seleção dos modelos. A primeira fase da seleção teve por base a bibliografia, onde se escolheram os modelos mais adequados para modelar a fenologia da videira. Privilegiaram-se os modelos que teoricamente melhor descrevem o comportamento fisiológico da videira e que tenham sido previamente testados com sucesso. Desta pré-seleção resultaram 3 modelos térmicos e 3 modelos térmicos com a integração da dormência.

Estes modelos foram ajustados para as séries correspondentes às variedades mais precoce (Fernão Pires) e mais tardia (Tinta Barroca) para a série de anos disponível.

Modelos térmicos de crescimento

Dos modelos térmicos foram pré-selecionados três modelos de acordo com a bibliografia:

- O modelo GDD;
- O modelo Uniforc proposto por Chuine (2000a) e baseado na função sigmoide proposta por Hänninen (1990);
- Um modelo assente na função de desenvolvimento proposta por Wang e Engel (1998), para o qual se propõe a denominação WangForc – WF.

Os primeiros dois modelos foram utilizados por se encontrarem bem documentados na literatura, o modelo GDD para várias culturas, inclusive a videira (Cortázar-Atauri 2009; Fernández-González 2013), o segundo para culturas florestais. O último modelo foi selecionado por ser o que mais se aproxima da resposta esperada de uma planta à temperatura ambiental, que utiliza uma função do tipo beta - com forma

de sino. A opção pela função de Wang em particular deveu-se a esta função estar já implementada no PMP.

Os 3 modelos apresentados foram testados com a variedade mais precoce e mais tardia para cada um dos estados fenológicos, abrolhamento, floração e pintor, tendo sido selecionado o melhor modelo para ser testado com as restantes séries. Dado que para cada uma das variedades selecionadas estavam disponíveis várias séries optou-se por usar uma série representativa do norte do país (Tinta Barroca – Valmor) e outra do sul do país (Fernão Pires – Dois Portos).

Influência do Porta-Enxerto

Parte da variabilidade entre as datas de ocorrência do mesmo estado fenológico está relacionada com a variabilidade genética existente entre variedades. O impacto do porta-enxerto na resposta ao ambiente ao nível dos estados fenológicos é desconhecida. Os dados recolhidos na Quinta da Cavadinha não só diferenciam as datas por variedade como também por bardos. Os bardos estão organizados por porta-enxerto sendo que estes dados foram utilizados para parametrizar do modelo WF tendo em consideração todas as observações fenológicas por variedade, mas também por variedade e por porta-enxerto. Pretendeu-se com isto estudar o impacto do porta-enxerto no desenvolvimento fenológico.

Modelos Térmicos com integração da Dormência

O mesmo raciocínio foi utilizado para os modelos térmicos com integração da dormência. Três modelos foram selecionados tendo por base a bibliografia. O modelo Paralelo, o modelo Sequencial e o modelo *Unified*. Todos utilizam a mesma função de forçagem que o modelo térmico Uniforc, a função Sigmoid. O modelos sequencial e paralelo também partilham a função de estimação das necessidades de frio, a função Triangular, enquanto o modelo Unified utiliza a função Chuine (uma função capaz de se comportar como uma função Beta ou a uma função Sigmoid). O modelo sequencial e paralelo diferenciam-se pela forma como compreendem a acumulação de unidades de frio e de calor. No modelo sequencial as necessidades de calor só se acumulam após estarem satisfeitas as necessidades de frio, enquanto no modelo paralelo esta acumulação pode acontecer em simultâneo sendo esta interação mediada pela função de Richardson (Richardson 1974)

Dos testes realizados para a seleção do melhor modelo, resultou não um mas dois modelos que foram posteriormente parametrizados para todas as séries.

3.2 Processo de ajustamento

A parametrização de modelos, foi realizada utilizando como ferramenta o *Phenology Modelling Platform* (Chuine 2013).

Foram utilizadas duas ferramentas disponíveis no PMP. A ferramenta de Parametrização – *Fit a model* – e a ferramenta de Simulação – *Run Simulation* (apresentada no sub-capítulo seguinte).

A primeira permitiu ajustar as séries recolhidas ao conjunto de funções selecionadas. Apesar de esta ferramenta permitir optar pela parametrização de apenas parte dos parâmetros das funções, optou-se por permitir que o algoritmo parametrizasse todos os parâmetros para aumentar a probabilidade de ser encontrado o mínimo global – solução com menores resíduos entre as datas previstas e observadas (Figura 14).

O algoritmo SA, também é configurável para aumentar ou diminuir a sensibilidade e a qualidade da procura pela solução ótima. Neste trabalho decidiu-se não alterar os parâmetros pré-definidos pelo sistema, sendo que se realizaram 20 repetições para cada uma das parametrizações.

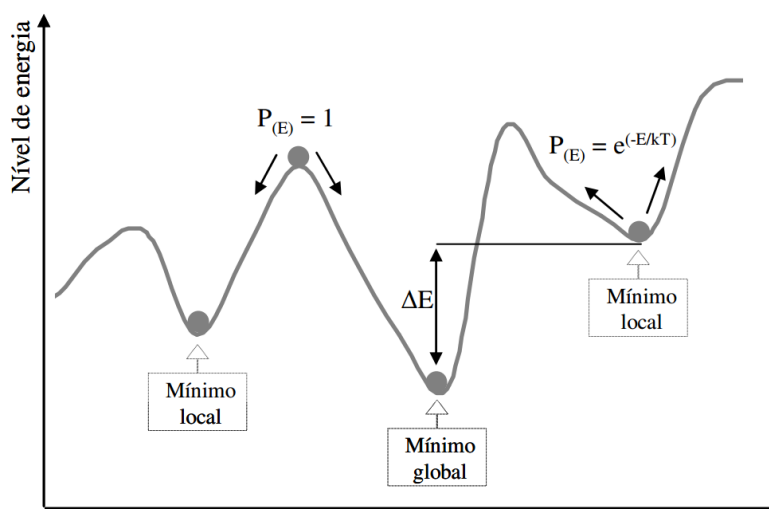


Figura 14 - Representação do método de otimização Simulated Annealing proposto por Metropolis (Ribeiro 2008)

3.3 Avaliação estatística dos Modelos

Os modelos parametrizados foram posteriormente avaliados do ponto de vista da sua razoabilidade operacional e do ponto de vista estatístico, utilizando os indicadores da tabela 10.

Tabela 10 - Indicadores estatísticos utilizados na escolha dos Modelos Calibrados.

Nome do indicador	Fórmula	Variáveis
Soma dos Quadrados dos Dados	$SStot = \sum_{i=1}^n (Xobs_i - \bar{Xobs})^2$	Xobs _i – Valores observados Xobs – Média dos valores observados
Soma dos Quadrados dos Resíduos	$SSres = \sum_{i=1}^n (Xobs_i - Xpre_i)^2$	Xpre _i – Valores previstos.
Coeficiente de Variância	$R^2 = \frac{(SStot - SSres)}{SStot}$	-
Média dos Quadrados dos Resíduos	$RMSE = \sqrt{\frac{SSres}{n}}$	n – Número de observações
Desvio Médio Absoluto	$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n Xobs_i - Xpre_i }{n}$	-
Critério de Informação Akaike	$AIC = n * \ln\left(\frac{SSres}{n}\right) + 2k$	k – Número de parâmetros do modelo

Quanto à razoabilidade operacional dos modelos avaliou-se se estes possuíam uma t0 suficientemente distanciada do fenoestado que se propõe modelar. Sabe-se que quanto mais próximo o t0 da data prevista, melhor será o seu desempenho estatístico, sendo que isso se traduz num modelo impossível de ser transportado para outro local e inútil do ponto de vista operacional. Foi também analisada a razoabilidade fisiológica dos parâmetros obtidos, isto é, se as temperaturas de desenvolvimento correspondiam a temperaturas razoáveis segundo a bibliografia.

A análise da qualidade do ajustamento dos modelos foi feita com o recurso ao valor do coeficiente de determinação (R²) bem como outros indicadores baseados na análise dos resíduos apresentados na tabela 10. Para testar a homocedasticidade dos resíduos, procedeu-se à análise da evolução dos resíduos de acordo com a magnitude dos valores observados. Foi ainda realizada uma análise comparativa entre os diferentes modelos utilizados com o recurso ao Critério de Informação Akaike (AIC). Este critério valoriza modelos com um menor erro quadrático porém pondera também o número de parâmetros que são necessários estimar para calibrar o modelo, valorizando modelos com um menor erro e simultaneamente com menor número de parâmetros. O modelo é tanto melhor quanto menor o valor do AIC. O valor do AIC foi utilizado para avaliar as performances preditivas dos diferentes tipos de modelos fenológicos testados.

Foi ainda avaliada estatisticamente, a eficácia com que o algoritmo de otimização convergiu para o mínimo global do problema. Para isso calculou-se o desvio padrão de cada parâmetro estimado, entre as 20 repetições de cada simulação.

3.4 Portabilidade dos Modelos

Os modelos com um desempenho estatístico superior foram avaliados quanto à sua portabilidade, isto é, quanto ao seu desempenho em contextos diferentes dos utilizados no seu desenvolvimento. Considerou-se um desempenho superior um R^2 igual ou superior a 75%, que corresponde ao maior R^2 necessário para considerar significativo (com $p < 0,01$) o resultado de uma parametrização em qualquer uma das séries tendo em consideração o número de observações (Montgomery et al. 2012).

A análise da portabilidade dos modelos foi feita recorrendo a duas técnicas: validação intra e inter-regional. Na validação intra-regional as performances preditivas dos modelos foram avaliadas com series de dados provenientes de locais na mesma região, na validação inter-regional foram utilizadas series de dados de regiões diferentes daquelas onde os modelos foram parametrizados.

Nesta avaliação foi utilizada a ferramenta *Run Simulation* do PMP. As previsões estimadas foram comparadas com as observações realizadas nessa região e utilizou-se para avaliar estatisticamente estas simulações, o R^2 , o MAD e o RMSE. Considera-se que o modelo está validado quando os indicadores estatísticos estimados no processo de validação são próximos dos da série de calibração e apresentam significância estatística.

Na figura 15 apresenta-se de forma esquemática o processo de validação realizado neste trabalho.

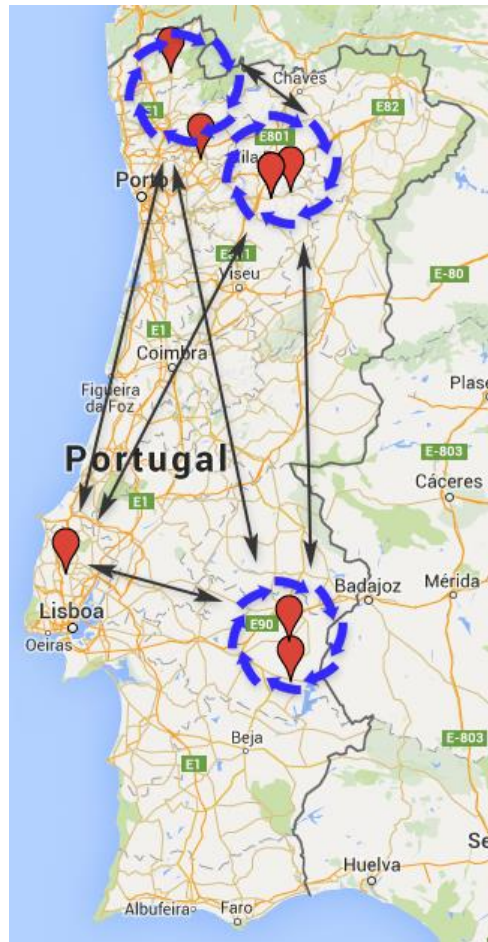


Figura 15 - Esquematização da fase de validação dos modelos construídos e avaliados. A vermelho estão assinalados os locais de estudo, azul representa-se a validação cruzada (regional), a preto a validação inter-regional dos modelos

4. Implementação de modelos fenológicos em GIS

Selecionaram-se dois modelos térmicos tendo em consideração a análise de portabilidade destes. Um dos modelos foi validado intra-regionalmente com sucesso e outro inter-regionalmente.

Para a implementação destes modelos num GIS foram utilizados dados de previsões do European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) da temperatura superficial da terra a 2 m. Estas previsões são feitas a intervalos de 3 horas. A resolução destas previsões é de 25 km sendo que esta foi posteriormente interpolada com o método IDW (Inverso Ponderado da Distância) para uma resolução 3 km. Foram utilizados dados de 2008, 2011 e 2014.

Estes dados do ECMWF foram utilizados para calcular as unidades de calor acumuladas para o modelo WF e assim foi estimado o dia do ano em que a floração ocorreu para cada ponto. As diferentes datas da floração, georreferenciadas, foram mapeadas utilizando o *Software* ArcGis.

IV. Resultados e Discussão

Neste capítulo apresentam-se os resultados deste trabalho, assim como a sua discussão. Foram parametrizados os seguintes modelos: *WF Abro*; *WF Flor*; *WF Pintor* e *WF Matur*, *Paralelo* e *Sequencial*.

São apresentados todos os parâmetros para cada um dos modelos criados, discute-se a qualidade do processo de parametrização escolhido, o impacto do local e da variedade neste processo e ainda o efeito da integração da dormência nos modelos fenológicos. Apresentam-se e discutem-se os resultados dos testes de robustez e portabilidade dos modelos criados e é ainda apresentado o resultado da sua implementação em GIS.

1. Comportamento das Variedades utilizadas

A figura 16 apresenta as datas médias e respetivo desvio padrão para a data de ocorrência de cada estado fenológico, para cada variedade e em cada local.

Algumas das variedades mais precoces testadas foram Fernão Pires e Chasselas, enquanto as variedades Vinhão (Vinhos Verdes) e Moreto (Alentejo) foram das mais tardias, destacando-se ainda a variedade Tinta Barroca na Região do Douro, que será utilizada como referência no próximo capítulo (Tabela 12). Esta indicação está de acordo com os resultados apresentados por Lopes et al. (2008).

Do ponto de vista regional, é na região do Alentejo, em particular no Redondo que se observa uma maior precocidade sendo que é também aqui se observam os maiores desvios padrão, o que indica uma grande variação interanual das temperaturas médias.

Entre os estados fenológicos estudados, aquele que apresenta maior variabilidade é o Pintor ($\sigma = 9,4$), sendo que o Abrolhamento ($\sigma = 6,5$) e a Floração ($\sigma = 7,0$) apresentam uma variabilidade menor e muito próxima entre si.

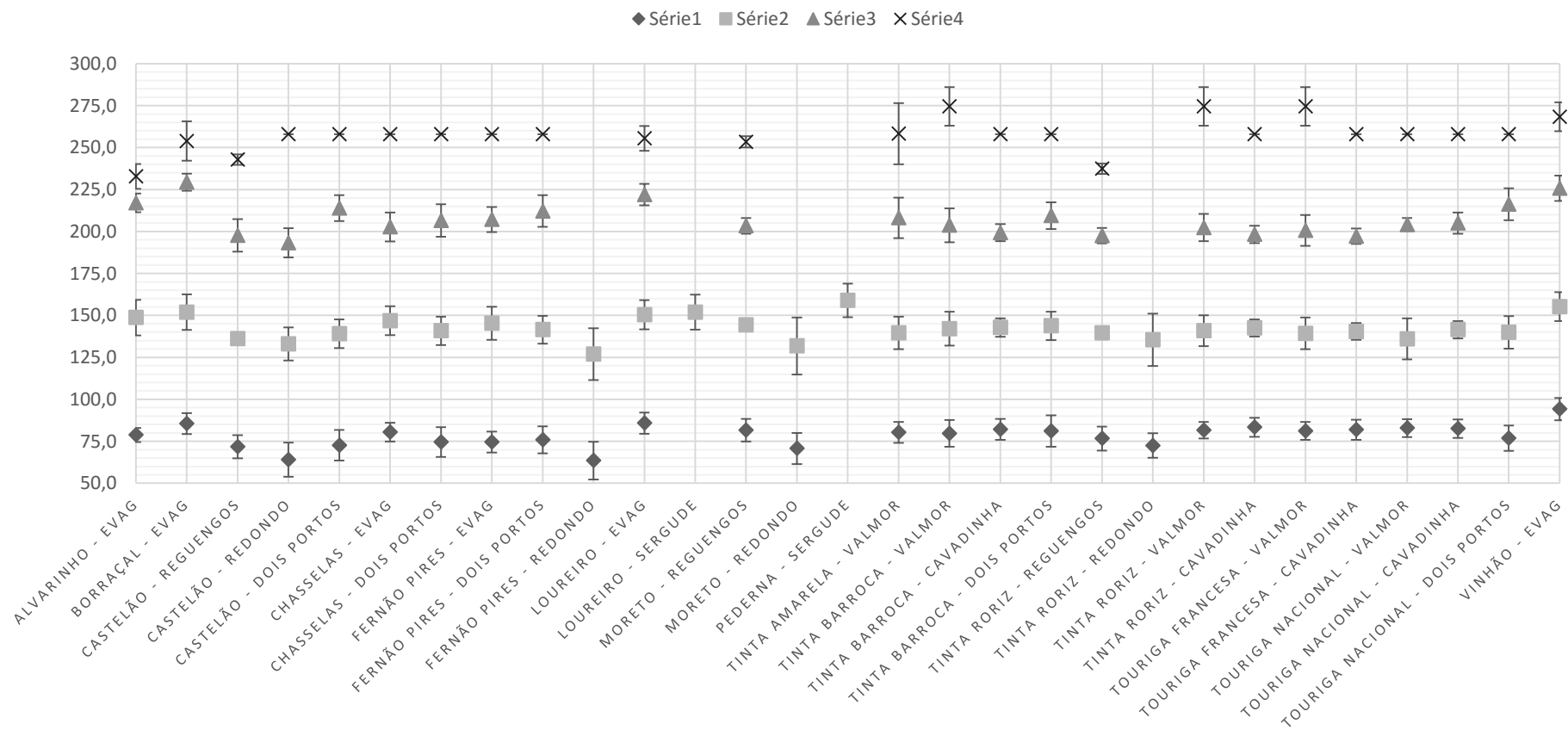


Figura 16 - Variabilidade dos dados fenológicos por variedade e por local, em análise. Os pontos representam a data média de ocorrência do estado, e as linhas verticais o desvio padrão das observações.

Na tabela 11, apresenta-se o número de dias médio entre cada dois estados fenológicos. O período floração-pintor tem uma duração média de 64,6 dias ($\sigma = 5,9$) o que comparando com o desvio padrão da data média do pintor representa um desvio 3,5 dias mais pequeno. Com isto sublinha-se a importância de utilizar estados fenológicos como a floração como um primeiro indicador da data de outros estados fenológicos, tais como o pintor e a maturação.

Na tabela 11, quando não disponíveis os dados da data de maturação/vindima, assumiu-se 15 de Setembro (DOY = 258) como a data de maturação/vindima.

Tabela 11 – Número de dias médio entre os estados fenológicos estudados neste trabalho. O valor é apresentado em DOY (Dia do ano) e entre parêntesis é apresentado o desvio padrão.

Variedade	Região	Local	1 Janeiro - Abrolh.	Abrolh. - Flor.	Floração - Pintor	Pintor - Vindima
Alvarinho	Vinhos Verdes	EVAG	78,8 (4,2)	70,0 (9,0)	68,3 (6,8)	15,7 (5,0)
Borraçal	Vinhos Verdes	EVAG	85,5 (6,2)	66,4 (10,1)	77,5 (7,4)	24,0 (8,5)
Castelão	Alentejo	Reguengos	71,8 (6,9)	64,3 (6,5)	61,6 (10,2)	45,1 (8,9)
		Redondo	64,0 (10,1)	69,0 (12,9)	59,4 (4,9)	64,7 (8,7)
Chasselas	Vinhos Verdes	EVAG	80,4 (5,6)	66,4 (7,5)	55,9 (2,9)	55,3 (8,6)
	Torres Vedras	Dois Portos	74,6 (8,9)	66,3 (7,8)	65,7 (7,2)	51,5 (9,7)
Fernão Pires	Vinhos Verdes	EVAG	74,5 (6,3)	70,8 (8,5)	63,0 (2,9)	50,9 (7,5)
	Torres Vedras	Dois Portos	75,8 (8,1)	65,6 (7,4)	70,7 (6,2)	45,8 (9,4)
	Alentejo	Redondo	63,5 (11,3)	61,1 (15,9)		
Loureiro	Vinhos Verdes	EVAG	85,8 (6,3)	64,6 (9,4)	71,5 (5,2)	33,3 (7,4)
		Sergude				
Moreto	Alentejo	Reguengos	81,6 (6,7)	62,7 (6,9)	59,1 (6,1)	50,0 (4,1)
		Redondo	70,7 (9,3)	60,4 (16)		
Pederna	Vinhos Verdes	Sergude				
Tinta Amarela	Douro	Valmor	80,3 (6,3)	59,3 (8,5)	68,5 (8,7)	52 (13,9)
Tinta Barroca	Douro	Valmor	79,7 (8,0)	62,4 (9,0)	61,5 (9,4)	71,0 (0,0)
		Cavadinha	82,1 (6,3)	60,7 (6,4)	56,5 (2,9)	58,7 (5,0)
	Torres Vedras	Dois Portos	81,2 (9,3)	62,6 (8,4)	65,7 (5,5)	48,6 (8,0)
Tinta Roriz	Alentejo	Reguengos	76,6 (7,1)	62,9 (7,0)	58,0 (6,3)	39,9 (4,5)
		Redondo	72,4 (7,3)	62,7 (14,2)		
	Douro	Valmor	81,6 (4,9)	59,3 (7,2)	61,5 (4,7)	67,0 (4,0)
		Cavadinha	83,3 (5,6)	59,2 (6,3)	55,7 (2,9)	59,7 (5,2)
Touriga Francesa	Douro	Valmor	81,2 (5,4)	58,2 (8,5)	60,9 (5,6)	68,0 (0,0)
		Cavadinha	81,9 (6,0)	58,6 (6,3)	56,7 (3,5)	60,8 (4,6)
Touriga Nacional	Douro	Valmor	82,8 (5,3)	53,2 (17,2)	68,2 (8,9)	53,8 (3,8)
		Cavadinha	82,5 (5,5)	58,9 (6,5)	63,5 (4,9)	53,0 (6,3)
	Torres Vedras	Dois Portos	76,8 (7,5)	63,1 (7,8)	76,4 (6,0)	41,7 (9,5)
Vinhão	Vinhos Verdes	EVAG	94,2 (6,7)	61,0 (9,5)	69,9 (6,3)	41,6 (8,6)

Tabela 12 - Variedades mais precoces e tardias por região e por estado fenológico.

ABROLHAMENTO	FLORAÇÃO	PINTOR
Variedades mais tardias		
Vinhos Verdes	Fernão Pires (EVAG)	Chasselas (EVAG)
Douro	Tinta Barroca (Cavadinha)	Touriga Francesa (Valmor)
Alentejo	Fernão Pires (Redondo)	Castelão (Redondo)
Torres Vedras	Chasselas (Dois Portos)	Chasselas (Dois Portos)
Variedades mais tardias		
Vinhos Verdes	Vinhão (EVAG)	Vinhão (EVAG)
Douro	Tinta Roriz (Cavadinha)	Tinta Amarela (Valmor)
Alentejo	Moreto (Reguengos)	Moreto (Reguengos)
Torres Vedras	Tinta Barroca (Dois Portos)	Touriga Nacional (Dois Portos)

2. Seleção dos Modelos

Nas tabelas 13 e 14 apresenta-se o resultado das parametrizações preliminares, realizadas com o objetivo fundamentar a escolha dos modelos térmicos com e sem integração da dormência utilizados durante o resto deste trabalho.

Para os modelos térmicos (Tabela 13), o modelo GDD apresenta um R^2 sempre inferior, tanto no abrolhamento como no pintor nas duas repetições realizadas.

Quando utilizado o AIC como critério de análise, a simplicidade deste modelo que se caracteriza por ter apenas 3 parâmetros em comparação com os 4 e 5 parâmetros dos modelos Uniforc e WangForc, faz com que sua menor capacidade explicativa seja compensada. Por esta razão, e sobretudo em trabalhos que visem apenas a modelação da floração, onde a capacidade explicativa do modelo GDD é igual à dos restantes modelos, fica clara a vantagem na sua utilização deste modelo face a outras alternativas.

Tabela 13 - Valor do parâmetro t_0 – data de arranque do modelo –, F^* – unidades de calor necessárias para ocorrência dos estados fenológicos modelados – e indicadores estatísticos da qualidade da calibração para os modelos GDD, Uniforc e Wangforc estimados para a previsão do Abrolhamento, Floração e Pintor.

Variedade (Local)	Modelo	Estado fenológico	n=	t_0 (dias)	F^* [°C]	R^2 []	AIC []	MAD (dias)	RMSE (dias)
Fernão Pires (Dois Portos)	GDD	Abrolhamento	24	24,8	493,7	0,55	87,0	4,4	5,4
		Floração	24	58,2	730,4	0,75	73,8	3,5	4,1
		Pintor	24	-26,1	3492	0,29	105,4	6,6	7,9
	Uniforc	Abrolhamento	24	25,8	38,78	0,68	78,6	3,7	4,5
		Floração	24	56,5	42,62	0,76	73,6	3,5	4,1
		Pintor	24	48,3	132,3	0,38	102,2	5,8	7,4
	WangForc	Abrolhamento	24	26,3	36,0	0,69	82,2	3,6	4,5
		Floração	24	56,7	15,3	0,81	79,7	3,6	4,3
		Pintor	24	101,8	55,8	0,97	13,9	1,1	1,3
Tinta Barroca (Valmor)	GDD	Abrolhamento	19	8,5	703,9	0,54	73,5	4,3	5,4
		Floração	19	43,4	606,1	0,67	76,4	5,1	5,8
		Pintor	19	200,2	11,6	0,13	91,3	7,4	9,4
	Uniforc	Abrolhamento	19	7,9	35,93	0,54	73,5	4,3	5,4
		Floração	19	4,0	12,08	0,73	72,3	4,3	5,2
		Pintor	19	102,2	82,72	0,32	86,6	6,7	8,3
	WangForc	Abrolhamento	19	8,4	44,7	0,54	77,3	4,2	5,4
		Floração	19	6,3	26,7	0,73	76,4	4,4	5,3
		Pintor	19	101,8	81,9	0,44	86,8	5,8	7,5

No abrolhamento a variedade Fernão Pires apresentou um R^2 mais elevado nos modelos Uniforc e WangForc, enquanto na floração este manteve-se constante para todos os modelos. No Pintor o modelo WangForc destacou-se por conseguir explicar 97% da variabilidade interanual da ocorrência do estado fenológico, enquanto os restantes modelos não ultrapassaram os 30%. Os resultados obtidos ao nível do RMSE e MAD estão em concordância com os valores do R^2 . Porém ao analisar-se o AIC o

melhor modelo para o abrolhamento e floração é o modelo Uniforc, enquanto para o pintor o modelo WangForc é claramente superior.

O valor de t_0 estimado para os modelos de abrolhamento variou entre os 24 e 26 DOY. Na floração este valor foi sempre próximo de DOY = 57, sendo este valor próximo do estimado por Parker (2011) – DOY = 60. No entanto a data determinada por Parker foi estimada como sendo um ótimo entre a performance estatística do modelo (R^2) e a sua operacionalidade, isto é, a distância entre a data de início os estados fenológicos previstos. Não foi considerado o comportamento fisiológico da videira na determinação desta data. Para o Pintor, o t_0 variou entre inícios de Dezembro do ano anterior (DOY - 26,1 – GDD), fim de Fevereiro (DOY 48,3 – Uniforc) e meados de Março (101,8 DOY – WangForc).

Para Tinta Barroca o modelo GDD apresentou um desempenho inferior aos restantes modelos para todos os estados fenológicos, no que diz respeito ao R^2 , ao RMSE e ao MAD. No entanto os valores do AIC evidenciam que a performance inferior dos restantes indicadores pode não justificar a necessidade de estimar um número maior de parâmetros. O modelo Uniforc em comparação com o modelo WangForc foi apenas inferior para o estado pintor, sendo que neste caso o valor de AIC suporta a superioridade do modelo Uniforc.

Para os modelos Uniforc e WanForc as datas estimadas de t_0 foram sempre muito próximas, não variando em mais do que 2 dias para o mesmo estado.

Tendo por base os dados da tabela 13, o modelo WangForc foi aquele que de uma forma mais consistente explicou a variabilidade nas séries testados. A análise do AIC apresenta uma padrão menos claro, sendo que este favoreceu em diferentes ocasiões cada um dos três modelos, dificultando a opção por um único modelo. Por esta razão, optou-se pela utilização do modelo WangForc pela sua consistência ao nível do R^2 e pelo significado fisiológico dos seus três parâmetros.

Na figura 17 comparam-se as três funções ajustadas para a floração da variedade Fernão Pires sendo que se evidencia que não há uma correlação entre os parâmetros das diferentes funções.

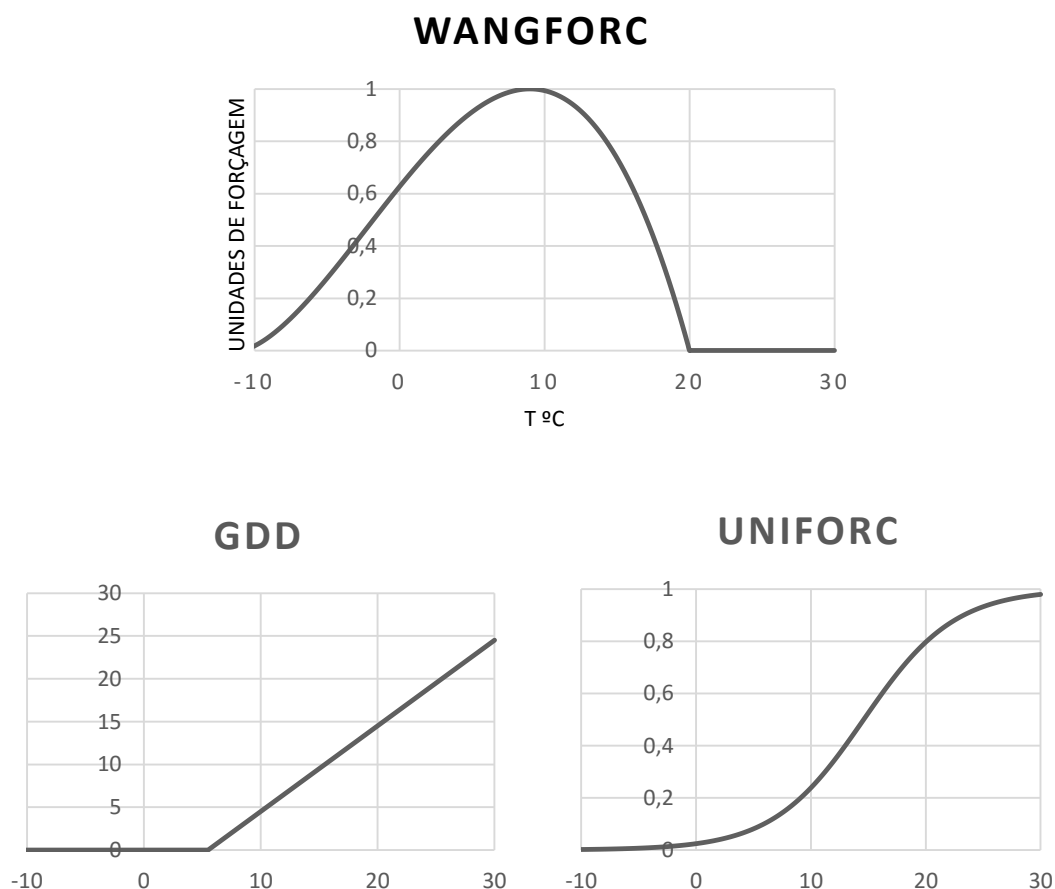


Figura 17 - Representação gráfica da função de Wang (Modelo WangForc), GDD (Modelo GDD) e Sigmoide (Modelo Uniforc).

No que diz respeito aos parâmetros estatísticos dos modelos térmicos com integração da dormência (Tabela 14), o modelo Unified apresentou nas duas séries testadas um R^2 inferior e um MAD, RMSE e AIC superiores aos restantes modelos testados.

Tabela 14 - Valores do parâmetro t_0 C – data de início de acumulação de unidades de frio, t_0 F – data de início da acumulação de unidades de calor –, C^* – unidades de frio necessárias para ocorrência da quebra da dormência –, F^* – unidades de calor necessárias à ocorrência do abrolhamento –, e indicadores estatísticos da qualidade da parametrização dos modelos paralelo, sequencial e unified para o estado fenológico do abrolhamento.

Variedade (Local)	Modelo	n=	t_0 C (dias)	t_0 F (dias)	C^* []	F^* []	R^2 []	AIC []	MAD (dias)	RMSE (dias)
Fernão Pires (Dois Portos)	Paralelo		-23,8	64,6	29,6	9,1	0,78	92,7	1,2	2,1
	Sequencial		26,9	-	26,4	1,1	0,76	91,7	1,3	2,2
	Unified		26,9	-	-	37,1	0,65	102,5	4,6	4,8
Tinta Barroca (Valmor)	Paralelo		7,9	-8,9	212,2	494,2	0,57	126,4	2,2	3,7
	Sequencial		-23,2	-	15,5	8,4	0,70	105,8	1,6	3,1
	Unified		-24,0	-	-	22,8	0,53	134,5	5,5	5,4

Para os modelos paralelo e sequencial, na série da variedade Fernão Pires, o melhor modelo para todos os indicadores à exceção do AIC, foi o modelo paralelo. Para a série de Tinta Barroca o modelo sequencial foi o que apresentou uma melhor performance para todos os indicadores testados.

Observa-se quanto a t_0 uma convergência entre as datas estimadas para os modelos sequencial e unified. No caso de Fernão Pires a data de t_0 estimada para o modelo paralelo (DOY= -23,8) foi anterior à data estimada para o modelo sequencial e unified (DOY = 26,9 - para ambos), enquanto para Tinta Barroca a tendência inverteu-se apresentando o modelo paralelo uma data posterior (DOY = 7,9) aos modelos sequencial e unified (DOY Mod. Sequencial = -23,2; DOY Mod. Unified = -24,0).

Apesar do parâmetro AIC indicar uma vantagem do modelo sequencial, por esta vantagem ser residual e por esta não se estender aos outros parâmetros estatísticos de avaliação dos modelos, i.e. o R^2 , o MAD e RMSE, optou-se por testar tanto o modelo paralelo, como o modelo sequencial nas restantes séries.

3. Ajustamento dos Modelos

Na sequência dos resultados do capítulo anterior, são apresentados as parametrizações do modelo térmico WangForc para os estados fenológicos abrolhamento, floração, pintor e maturação, e dos modelos térmicos com integração da dormência Paralelo e Sequencial para o abrolhamento

Apresenta-se ainda as comparações entre modelos parametrizados diferenciando o porta-enxerto, para além da variedade, com modelos parametrizados sem essa diferenciação.

3.1 Modelos térmicos

Nas tabelas 16, 17 e 18 são apresentados as parametrizações do modelo WangForc para os estados fenológicos abrolhamento, floração e pintor. No próximo capítulo 3.2 discutir-se-á ainda a utilização deste modelo para a previsão da maturação.

Observa-se que a floração foi o estado fenológico que resultou em modelos com uma maior explicação da variabilidade. Este resultado está de acordo com o esperado dadas as limitações naturais dos restantes estados fenológicos. No abrolhamento, a determinação exata do momento em que se atinge este estado fenológico é difícil, dadas as pequenas diferenças morfológicas entre os primeiros fenostados do ciclo cultural. Já no pintor, por ser um estado fenológico baseado em descritores morfológicos (cor dos bagos) de difícil determinação dificulta a determinação da exata data de ocorrência, sobretudo em variedades brancas.

Para o abrolhamento, entre os 27 modelos criados, apenas 3 apresentam um R^2 não significativo para $p < 0,01$, na floração este número eleva-se para 7 entre os 29 modelos criados enquanto no pintor 6 entre 24 modelos não foram significativos.

Em média, MAD e o RMSE para o abrolhamento foram 3,4 e 4,3 dias respetivamente, para a floração de 4,17 e 5,0 dias e para o pintor 3,9 e 4,8 dias. Considerando que as observações dos estados fenológicos no terreno são efectuadas com intervalos de 3 a 4 dias, estes resultados estão dentro do expectável. Os resultados obtidos estão ainda de acordo com os resultados obtidos em trabalhos semelhantes. Parker (2011) obteve RMSE entre os 5,4 e os 6,1 para a floração, e de 8 a 10,2 dias para o pintor para o seu modelo genérico da floração e pintor.

Tabela 15 – Resultados das parametrizações do modelo WF Abro. São apresentados os resultados da melhor repetição*. n – número de observações utilizadas na parametrização do modelo; t0 – dia de início do modelo; F* - valor acumulado de unidades de calor; topt – temperatura ótima de desenvolvimento; tmin – temperatura mínima de desenvolvimento; tmax – temperatura máxima de desenvolvimento; R² – coeficiente de determinação; AIC – critério de informação Akaike; MAD – desvio médio absoluto e RMSE – desvio médio quadrático.

Região	Local	Variedade	n=	PARÂMETROS DO MODELO					ANÁLISE ESTATÍSTICA			
				t0 (dias)	F* []	topt (°C)	tmin (°C)	tmax (°C)	R2 []	AIC []	MAD (dias)	RMSE (dias)
Alentejo	Redondo	Castelão	9	-31,8 (3,2)	82,3 (4,7)	9,1 (5,5)	6,3 (0,8)	32,6 (7,3)	0,72 **	70,4	4,1	5,4
		Fernão Pires	11	-36,8 (4,2)	65,9 (6,3)	7,8 (3,8)	7,5 (1,3)	36,7 (7,1)	0,83 **	44,1	3,8	4,7
		Moreto	14	-28,4 (2,5)	84,9 (4,8)	8,6 (8,4)	6,3 (5)	50 (10,4)	0,72 **	51,3	4,1	4,9
		Tinta Roriz	17	-25,8 (1,8)	90,2 (1,2)	20 (0,7)	13 (0,9)	50 (5)	0,67 **	55,8	3,4	4,2
	Reguengos	Castelão	17	-27,9 (17,8)	86,3 (16,4)	7,8 (1,9)	4,6 (7,5)	20 (2,6)	0,48 **	42,2	3,6	5,0
		Moreto	9	-53 (69,4)	11,4 (67,5)	6 (8,7)	4,6 (12,5)	35,8 (9,8)	0,43	42,4	4,3	5,1
Douro	Cavadinha	Tinta Roriz	9	34,7 (50,6)	32,4 (49,8)	6,6 (5,7)	4,4 (10,3)	20 (3)	0,49	42,6	4,4	5,1
		Tinta Barroca	9	52,3 (1,4)	23,7 (1,2)	11,1 (1,3)	5 (0,6)	34 (6,6)	0,83 **	67,9	2,0	2,6
		Tinta Roriz	9	-4 (0,8)	68,7 (2,1)	17,5 (1,7)	-34,1 (5,6)	33,1 (4)	0,67 **	80,1	2,6	3,2
		Touriga Francesa	9	53,8 (0,9)	21,8 (0,7)	11,3 (2,5)	5 (12)	30 (5,9)	0,82 **	66,4	2,2	2,6
	Valmor	Touriga Nacional	9	56,1 (1,3)	22,4 (0,9)	20,4 (3,9)	2,3 (2,1)	20,4 (8,8)	0,82 **	61,0	2,0	2,3
		Tinta Amarela	16	14,7 (1,1)	24,9 (3,7)	28,1 (2,3)	-26,4 (10,2)	38,1 (4,3)	0,61 **	54,5	3,4	4,0
		Tinta Barroca	19	8,4 (0,4)	44,7 (7,3)	16,6 (4,1)	-40 (12,6)	21,4 (6,5)	0,54 **	77,3	4,2	5,4
		Tinta Roriz	19	17,6 (0,6)	50,1 (3,3)	19,8 (2,7)	-4,9 (5,7)	37 (6)	0,46 **	61,3	2,7	3,6
		Touriga Francesa	19	13,7 (1)	42,6 (4,3)	26,3 (2,7)	-3,5 (8,8)	48,9 (5,1)	0,54 **	61,6	2,7	3,6
Torres Vedras	Dois Portos	Touriga Nacional	19	61,9 (3,1)	12,3 (2,4)	8,1 (2,6)	7,3 (13,3)	20 (0,7)	0,62 **	24,2	2,9	3,3
		Castelão	24	-5,7 (3,2)	54 (2,9)	18,1 (1,4)	5,8 (1)	33,2 (6,2)	0,69 **	87,6	3,9	5,0
		Chasselas	24	-8 (16)	47,5 (5,7)	17,8 (0,9)	-28,9 (14,8)	22,7 (6,9)	0,64 **	90,5	3,7	5,3
		Fernão Pires	24	26,3 (1,1)	36 (1,3)	17,8 (0,8)	6,4 (0,7)	3,3 (4,6)	0,69 **	82,2	3,6	4,5
		Tinta Barroca	19	-23,4 (2,8)	64,5 (7,1)	19,4 (1,7)	0,7 (11,2)	28,8 (7,4)	0,68 **	76,8	3,7	5,3
Vinhos Verdes	Arcos de Valdevez	Touriga Nacional	17	27,6 (0,7)	38,6 (2,3)	18,2 (1,9)	7,3 (1,1)	50 (4,9)	0,53 **	72,5	4,0	5,2
		Alvarinho	24	44,5 (2,2)	30,6 (1,9)	11,6 (6,3)	7,3 (10,6)	50 (9,5)	0,52 **	73,0	3,1	3,7
		Borraçal	24	23 (1)	35,8 (5)	23,4 (3,5)	-38,7 (8,6)	33 (5,3)	0,35 **	92,7	4,2	5,6
		Chasselas	7	31,8 (10,4)	25,5 (9,3)	6,9 (5,1)	6,8 (5,5)	31,9 (7,3)	0,67	26,3	2,7	3,2
		Fernão Pires	24	30 (1,1)	28,3 (3,6)	19,8 (3,2)	1,8 (10,6)	34,6 (6,4)	0,65 **	73,0	2,9	3,7
		Loureiro	24	23,4 (0,9)	49 (2,8)	14,6 (1,8)	-40 (14,2)	20 (3,5)	0,51 **	81,8	3,6	4,5
		Vinhão	24	53,5 (5,5)	34,6 (5,3)	10,4 (7,1)	8,2 (9,2)	50 (11,1)	0,37 **	89,9	4,3	5,3

*O processo de parametrização realizado, com o recurso ao algoritmo SA, estima 20 repetições. Aquela com menores MAD e RMSE e maior R² foi considerada a melhor repetição. Foi ainda estimado e apresentado entre parentesis, o desvio padrão entre as 20 repetições calculadas para cada um dos parametros apresentados.

Tabela 16 - Resultados das parametrizações do modelo WF Flor. São apresentados os resultados da melhor repetição*. n – número de observações utilizadas na parametrização do modelo; t0 – dia de início do modelo; F* - valor acumulado de unidades de calor; topt – temperatura ótima de desenvolvimento; tmin – temperatura mínima de desenvolvimento; tmax – temperatura máxima de desenvolvimento; R² – coeficiente de determinação; AIC – critério de informação Akaike; MAD – desvio médio absoluto e RMSE – desvio médio quadrático.

				PARÂMETROS DO MODELO: Melhor repetição (σ)					ANÁLISE ESTATÍSTICA			
Região	Local	Variedade	n=	t0 (dias)	F* []	topt (°C)	tmin (°C)	tmax (°C)	R2 []	AIC []	MAD (dias)	RMSE (dias)
Alentejo	Redondo	Castelão	9	26,6 (1,7)	53,7 (3,5)	29,5 (1,4)	-39,2 (5,9)	41 (2,4)	0,66 **	73,3	5,2	5,8
		Fernão Pires	11	-34,9 (0,6)	51,3 (5,5)	29,2 (2,5)	5,5 (1,3)	45,4 (6)	0,85 **	49,5	5,5	6,0
		Moreto	14	41,5 (34)	32,3 (39)	17,9 (2,3)	6,7 (13,3)	20,4 (11,8)	0,76 **	48,1	6,8	8,3
	Reguengos	Tinta Roriz	17	12,2 (6,5)	80,9 (5,2)	29,6 (0,9)	-24,9 (7)	47,6 (1,9)	0,36	66,7	7,7	8,9
		Castelão	17	40 (0)	64,9 (2,2)	29,4 (0,9)	-34,5 (3,9)	46,8 (1,7)	0,41 **	31,3	2,3	2,9
		Moreto	9	128,3 (20,5)	11,6 (18,6)	25,6 (2,3)	-3,1 (13,4)	35,2 (4,7)	0,45	24,9	1,5	2,1
Douro	Cavadinha	Tinta Roriz	9	-29,3 (93,1)	111,2 (85,6)	21,9 (3,5)	5,8 (15,5)	48,6 (8,1)	0,43	83,9	9,5	11,7
		Tinta Barroca	9	58 (2,2)	78,6 (3,4)	15,8 (3,5)	2,5 (1,4)	50 (7)	0,37	97,7	3,6	4,3
		Tinta Roriz	9	100,7 (21,2)	37,5 (21,1)	17,4 (4,4)	6 (8,3)	38,7 (6,8)	0,26	98,7	3,6	4,4
		Touriga Francesa	9	57,3 (2,5)	77,4 (3,6)	14,9 (3,4)	2,5 (1,6)	46,5 (7)	0,45	89,4	3,0	3,8
		Touriga Nacional	9	78,3 (2,4)	40,1 (3,9)	17,7 (4,3)	3,8 (4,8)	21,7 (8,3)	0,36	37,4	8,5	9,8
	Valmor	Tinta Amarela	16	86,2 (8,5)	23,3 (4,5)	26,1 (1,4)	7,5 (10,7)	26,3 (2,3)	0,83 **	55,0	3,4	4,1
		Tinta Barroca	19	6,3 (1,3)	26,7 (4,7)	26,6 (1,4)	-37,3 (9,3)	31 (1,7)	0,73 **	76,4	4,4	5,3
		Tinta Roriz	19	9 (1,4)	24,4 (4,6)	28,9 (1)	-26,6 (9,1)	34,2 (1,6)	0,74 **	72,4	4,0	4,8
		Touriga Francesa	19	-14,9 (15,8)	14,6 (4,1)	29,3 (1,3)	-27,9 (4,7)	33,6 (1,7)	0,68 **	77,3	4,4	5,4
		Touriga Nacional	19	57,8 (36,3)	77 (35)	16,1 (0,9)	2,5 (7,8)	50 (3,5)	0,40 **	92,9	3,1	4,0
Torres Vedras	Dois Portos	Castelão	24	57,3 (9,4)	46,3 (5,6)	23,3 (1,9)	1 (15,3)	31,9 (4,7)	0,75 **	77,9	3,6	4,1
		Chasselas	24	55,6 (2)	52,4 (3,1)	20,6 (1,8)	6,5 (11,5)	28,7 (4,9)	0,77 **	77,4	3,5	4,1
		Fernão Pires	24	57 (11,3)	41,7 (4,9)	27,8 (1,7)	4,3 (15,3)	42,3 (4,3)	0,75 **	77,8	3,5	4,1
		Tinta Barroca	19	55,9 (0,7)	43,4 (3,9)	27,6 (2)	3,1 (14,2)	40,9 (4,7)	0,71 **	70,5	3,8	4,5
		Touriga Nacional	17	56,8 (1,1)	40,8 (3,7)	26,6 (2,4)	9,6 (1,8)	45,5 (6,1)	0,78 **	67,1	3,9	4,5
Vinhos Verdes	Arcos de Valdevez	Alvarinho	24	86,8 (2,3)	14 (2,6)	22,5 (1,5)	-11,5 (12,9)	25 (2)	0,76 **	82,8	3,5	4,6
		Borraçal	24	84,5 (3,4)	23,2 (3,4)	21,8 (1,3)	-34,8 (14,1)	24,9 (2,2)	0,72 **	85,5	4,3	4,8
		Chasselas	7	70,9 (2)	47,2 (6,2)	28,5 (2,9)	6,3 (11)	28,6 (7,5)	0,90 **	24,2	2,1	2,7
		Fernão Pires	24	56,7 (1,4)	15,3 (4,3)	27,8 (1,8)	-40 (6,3)	32,2 (2)	0,81 **	79,7	3,6	4,3
		Loureiro	24	83,6 (2,8)	23,2 (3)	22,1 (1,5)	-40 (13,8)	25,3 (2,3)	0,79 **	76,7	3,3	4,0
		Vinhão	24	93,9 (4,3)	27,1 (2,7)	22,3 (1,7)	-23,5 (14,1)	26,2 (3)	0,70 **	84,6	3,8	4,7
	Felgueiras	Loureiro	14	75 (1,7)	22,2 (3,6)	24,8 (1)	-22,3 (10,6)	29,3 (1,6)	0,88 **	46,0	3,0	3,6
		Pederna	14	64,7 (2,9)	24,5 (3,1)	25,9 (1,7)	-14,9 (12,4)	30,9 (2,5)	0,89 **	46,3	2,4	3,4

*O processo de parametrização realizado, com o recurso ao algoritmo SA, estima 20 repetições. Aquela com menores MAD e RMSE e maior R² foi considerada a melhor repetição. Foi ainda estimado e apresentado entre parentesis, o desvio padrão entre as 20 repetições calculadas para cada um dos parametros apresentados.

Tabela 17 - Resultados das parametrizações do modelo WF Pintor. São apresentados os resultados da melhor repetição*. n – número de observações utilizadas na parametrização do modelo; t0 – dia de início do modelo; F* - valor acumulado de unidades de calor; topt – temperatura ótima de desenvolvimento; tmin – temperatura mínima de desenvolvimento; tmax – temperatura máxima de desenvolvimento; R² – coeficiente de determinação; AIC – critério de informação Akaike; MAD – desvio médio absoluto e RMSE – desvio médio quadrático.

Região	Local	Variedade	n=	PARÂMETROS DO MODELO: Melhor repetição (σ)					ANÁLISE ESTATÍSTICA			
				t0 (dias)	F* []	topt (°C)	tmin (°C)	tmax (°C)	R2 []	AIC []	MAD (dias)	RMSE (dias)
Alentejo	Redondo	Castelão	9	-19,1 (2,2)	140,5 (6,7)	24,6 (0,8)	-38,6 (7,2)	34,2 (1,5)	0,68 **	51,4	3,8	4,9
	Reguengos	Castelão	17	65,9 (5,4)	105,8 (4,8)	16,5 (0,7)	9,5 (0,3)	32 (1,9)	0,72 **	42,8	4,0	5,2
		Moreto	9	-78,9 (50,1)	248,9 (55,9)	0 (4,1)	-28 (10)	50 (1,7)	0,35	36,5	3,2	3,8
		Tinta Roriz	9	156,3 (11,6)	39,4 (9,7)	19,7 (1,8)	10 (12,5)	50 (7,2)	0,06	40,1	3,6	4,5
Douro	Cavadinha	Tinta Barroca	9	96 (2,5)	91,2 (2,3)	17,2 (0,5)	7,4 (0,9)	36,4 (2,2)	0,45	88,8	2,9	3,7
		Tinta Roriz	9	96,7 (8,8)	90,8 (10,4)	16,8 (2,8)	7,1 (4,8)	37,7 (3,2)	0,33	97,3	3,6	4,3
		Touriga Francesa	9	96,1 (1,8)	91,9 (2,1)	17,2 (0,5)	7 (1,6)	39,7 (3)	0,32	90,0	2,9	3,8
		Touriga Nacional	9	58,8 (35,8)	82 (34,9)	29,5 (0,9)	2,3 (7,9)	29,6 (2,5)	0,31	96,4	3,3	4,2
	Valmor	Tinta Amarela	16	101,4 (8,8)	71,2 (6,7)	25,3 (1,2)	-28,9 (16)	25,8 (0,6)	0,75 **	67,5	5,0	6,0
		Tinta Barroca	19	101,8 (20,1)	81,9 (13,3)	29,7 (2,5)	7,8 (11,4)	29,8 (1)	0,44 **	86,8	5,8	7,5
		Tinta Roriz	19	53,7 (15)	122,3 (13,9)	21 (0,6)	-15,5 (7,4)	30,3 (1)	0,59 **	76,3	4,6	5,2
		Touriga Francesa	19	78,4 (25,3)	103,1 (18)	20,2 (0,8)	2,2 (14,1)	30,4 (1)	0,38 **	85,1	5,7	7,2
		Touriga Nacional	19	169,8 (89,7)	27 (47,6)	25,8 (1,1)	-40 (16,9)	30,5 (4)	0,70 **	18,9	1,6	2,1
		Castelão	24	79,4 (15,2)	104,2 (9)	20,2 (0,4)	0,5 (11,1)	25,9 (0,6)	0,62 **	81,8	4,2	4,8
Torres Vedras	Dois Portos	Chasselas	24	45,6 (2)	137,4 (4,2)	19,7 (1)	6,5 (2,8)	34 (3,8)	0,31 **	110,1	6,2	8,0
		Fernão Pires	24	47,6 (1,7)	130,6 (3,5)	20,3 (0,4)	4,6 (5,2)	29,6 (1,8)	0,40 **	105,3	5,6	7,3
		Tinta Barroca	19	77,6 (13,8)	113,2 (8,7)	19,1 (1,9)	8,2 (14)	29,1 (4,9)	0,41 **	82,7	5,1	6,1
		Touriga Nacional	17	44,1 (13,2)	127,9 (8,4)	20,2 (0,5)	-6,6 (6,8)	26,1 (1,4)	0,59 **	78,6	5,1	6,1
		Alvarinho	24	77,3 (1,6)	103,1 (5)	21,8 (0,5)	6,8 (3,6)	31,1 (1,9)	0,73 **	66,5	3,1	3,8
Vinhos Verdes	Arcos de Valdevez	Borraçal	24	76,6 (71,5)	122,1 (75,9)	21,6 (1,7)	5 (14,1)	33 (5,7)	0,40 **	84,7	4,8	5,9
		Chasselas	7	-16,6 (41,8)	55,7 (9,6)	23,1 (0,8)	-37,9 (15,5)	26,2 (3,2)	0,97 **	16,3	1,0	1,6
		Fernão Pires	24	101,8 (15,6)	55,8 (12,3)	22,7 (1,7)	-6,6 (15,8)	26,6 (6,7)	0,97 **	13,9	1,1	1,3
		Loureiro	24	100,8 (5,7)	98 (5)	20,7 (0,5)	9,9 (2,4)	32,4 (1,6)	0,54 **	80,1	3,8	4,3
		Vinhão	24	10,4 (3)	96,7 (3,2)	21,6 (1,6)	10 (1,8)	32,4 (1,9)	0,55 **	81,3	4,0	5,1
		Castelão	24	79,4 (15,2)	104,2 (9)	20,2 (0,4)	0,5 (11,1)	25,9 (0,6)	0,62 **	81,8	4,2	4,8

*O processo de parametrização realizado, com o recurso ao algoritmo SA, estima 20 repetições. Aquela com menores MAD e RMSE e maior R² foi considerada a melhor repetição. Foi ainda estimado e apresentado entre parentesis, o desvio padrão entre as 20 repetições calculadas para cada um dos parametros apresentados.

Os parâmetros do Modelo de Wang relativos às temperaturas cardinais para o desenvolvimento – temperatura ótima, mínima e máxima – possuem uma grande variabilidade para as variedades e locais testados. Na tabela 19, apresentam-se os valores médios, máximos, mínimos e o desvio padrão, para os parâmetros temperatura ótima, mínima e máxima de desenvolvimento do modelo WangForc. Para o cálculo destes valores consideraram-se todos os modelos significativos apresentados nas tabelas 15, 16 e 17.

Tabela 18 – Comparação do valor médio, máximo, mínimo e desvio padrão para os parâmetros temperatura ótima, temperatura mínima e temperatura máxima para os três estados fenológicos modelados com a função WangForc.

		Topt (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)
WF Abro	Média (σ)	16 (5,8)	-5,1 (17,7)	33,2 (12,2)
	Mínimo	7,8	-40	3,3
	Máximo	28,1	13	50
WF Flor	Média (σ)	25,2 (3,8)	-13,6 (18,7)	33,7 (8,2)
	Mínimo	16,1	-40	20,4
	Máximo	29,5	9,6	50
WF Pintor	Média (σ)	21,9 (2,9)	-5,7 (17,7)	30 (2,8)
	Mínimo	16,5	-40	25,8
	Máximo	29,7	10	34,2

Verificou-se uma grande amplitude de variação dos parâmetros do modelo, sobretudo para as temperaturas máximas e mínimas de desenvolvimento as quais podem atingir desvios padrão de 18,7°C (temp. máxima) a 12,2 °C (temp. mínima). Verifica-se com frequência a tendência destas temperaturas convergirem para valores extremos e sem significado fisiológico, Sendo estes valores reflexo dos limites impostos pelo algoritmo de busca. As temperaturas ótimas variam num intervalo mais restrito ($\Delta\sigma$ = [2,9;5,8°C]) estando o seu valor médio de acordo com a bibliografia. Greer (2012) estimou que temperaturas entre os 25-35°C são o intervalo ótimo para a realização da fotossíntese para a variedade Semillon, sendo que a partir dos 35°C a temperatura tem um efeito negativo nos processos fotossintéticos. De forma a otimizar estes resultados seria importante a realização de um ajuste ao próprio algoritmo, minimizando o intervalo de busca apenas a temperaturas fisiologicamente válidas. Em teoria, esta alteração resultaria em melhores resultados.

De uma forma geral, a função de Wang caracteriza-se por uma assimetria à esquerda quando parametrizada para explicar a data de abrolhamento, e uma assimetria à direita quando parametrizado para as datas da floração e do pintor (Figura 18). Isto significa que para o abrolhamento as temperaturas ótimas de desenvolvimento,

são próximas da temperatura mínima, enquanto no segundo caso as temperaturas ótimas estão mais próximas das temperaturas máximas.

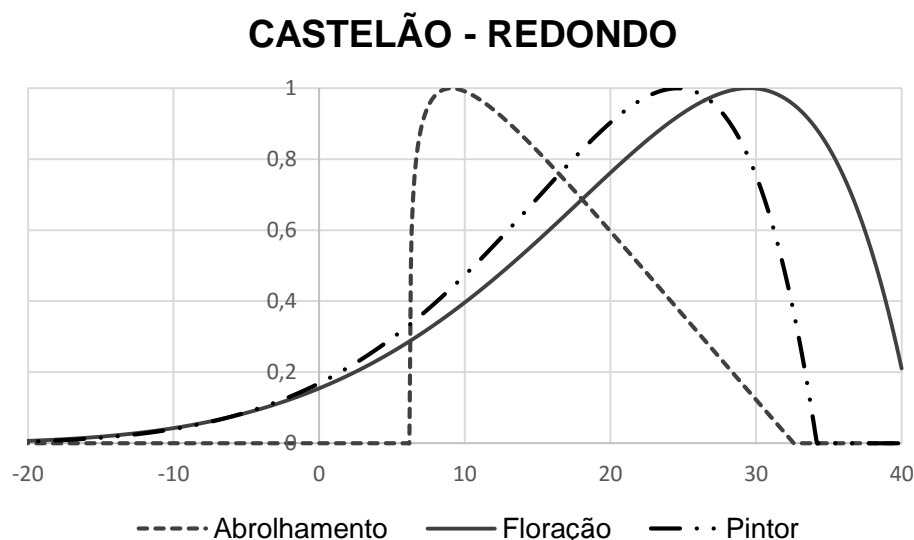


Figura 18 - Parametrização da Função de Wang aos estados Fenológicos Abrolhamento (WF Abro), Floração (WF Flor) e Pintor (WF Pintor) para a variedade Castelão em Redondo.

Verificaram-se grandes variações do t_0 obtido nas diferentes parametrizações (Tabelas 16, 17 e 18). Este resultado era esperado e está de acordo com os resultados obtidos por Nendel (2010). Nendel estimou a data inicial para acumulação de unidades de forçagem na variedade Riesling, em diferentes locais na Alemanha. Obteve datas entre 14 de Fevereiro e 12 de Março, demonstrando o grande impacto do local na determinação desta data.

Eficiência do algoritmo de otimização

Menores desvios padrão significam uma maior probabilidade de o algoritmo ter encontrado o ótimo global, pois o desvio será tanto menor quanto maior tiver sido a convergência entre repetições. Um maior desvio padrão, significa que o algoritmo encontrou diferentes ótimos locais sendo que há a possibilidade de nenhum deles ser o ótimo global da função.

A análise das tabelas 16, 17 e 18 reforçam a tendência anteriormente descrita. As temperaturas ótimas de desenvolvimento são aquelas onde por norma há um menor desvio padrão. Verifica-se que o algoritmo encontra mais vezes o ótimo de desenvolvimento nos fenoestados floração e pintor, onde os desvios padrão variam entre os 0,35 e os 2,89°C, do que para o abrolhamento, onde o desvio padrão mínimo foi 0,88 e o máximo 8,44°C.

O t_0 é progressivamente mais difícil de estimar, ao longo do ciclo cultural. No abrolhamento o desvio médio é 3,1 dias, na floração 6,6 dias e no pintor 19,5 dias, porém ao analisar-se os dados obtidos, verifica-se que estes desvios médios são altamente afetados por *outliers* não sendo recorrente a existência de uma variação tão acentuada entre as repetições de cada simulação.

Impacto do microclima local na parametrização

Na figura 18, compara-se, para diferentes locais, a função de Wang parametrizada para a floração. Para este estado fenológico verifica-se uma forte correlação entre o local e o resultado do ajuste obtido. A Norte (Valmor, Cavadinha, Arcos de Valdevez e Felgueiras) observa-se que a resposta da função adquire um comportamento assimétrico, mais acentuado do que nos locais a Sul (Dois Portos, Redondo e Reguengos) onde a resposta tende para a simetria. Este comportamento explica-se pelas temperaturas mais frias e verificadas durante um período mais prolongado a Norte, em comparação com a Sul. Assim, o SA procura justificar o impacto destas temperaturas no desenvolvimento da videira.

Comum a todos os modelos, e independente do local, é o impacto de temperaturas acima dos 5-10°C. Nos locais a Norte é neste intervalo que se verifica o ponto de inflexão da função, onde a resposta às temperaturas se torna exponencial. A Sul é aproximadamente nestas temperatura que se observa uma resposta positiva da função, sendo que esta é exponencial negativa. Estes dados vão de encontro às observações realizada noutros trabalhos, que apontam para temperaturas entre 0-5°C como o limite onde se inicia o contributo da temperatura no desenvolvimento (Pouget 1988; Moncur et al. 1989; Lopes et al. 2008; a. K. Parker et al. 2011).

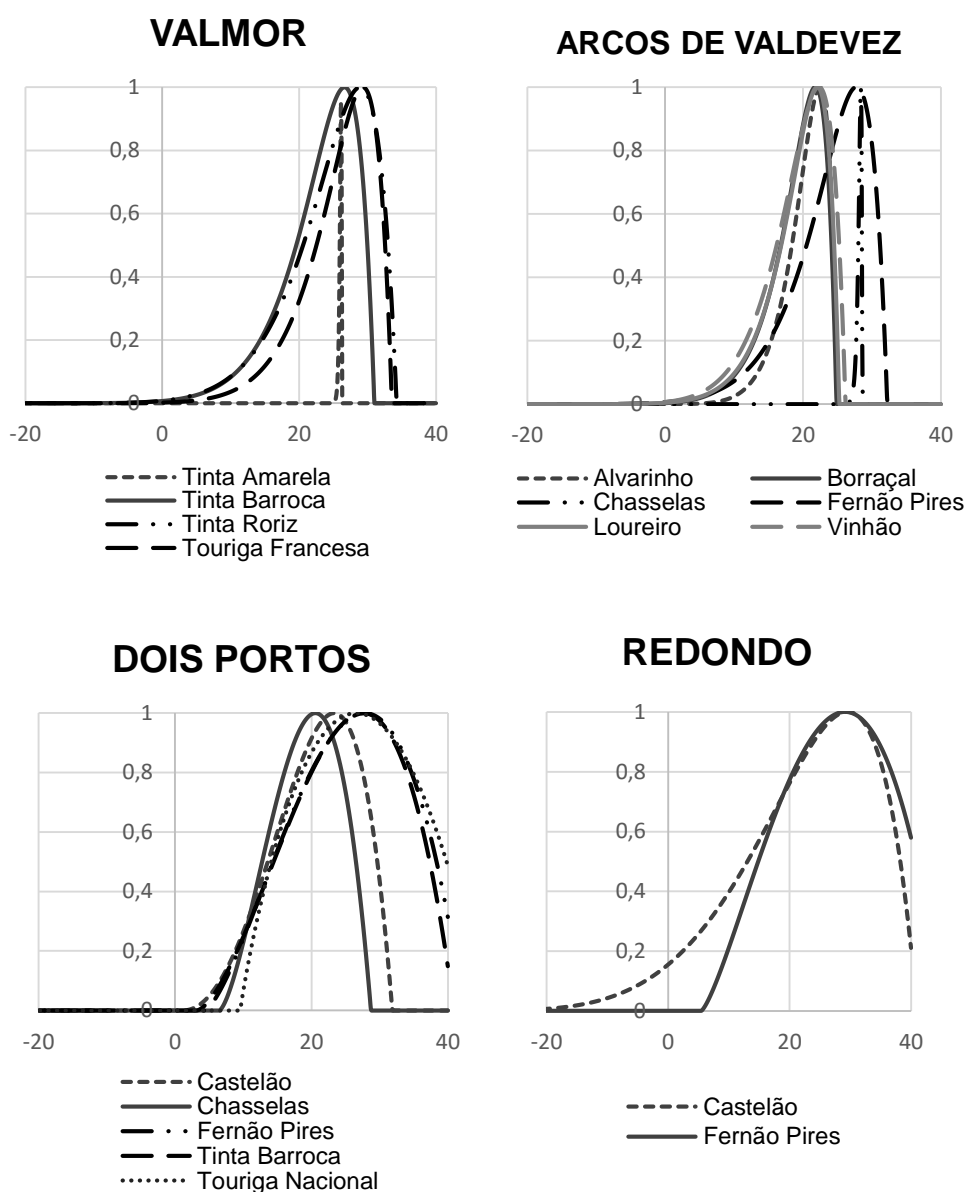


Figura 19- Representação gráfica da função de Wang parametrizada para todas as variedades estudadas (Tinta Amarela, Tinta Barroca, Tinta Roriz, Touriga Francesa, Alvarinho, Chasselas, Loureiro, Borraçal, Fernão Pires, Vinhão) em quatro locais (Valmor, Arcos de Valdevez, Dois Portos, Redondo). Foram apenas consideradas as funções com um R² superior a 65%.

A análise dos resultados apresentados na figura 19 poderiam, em teoria, ser utilizados para comparar variedades e classificar estas quanto à sua precocidade. Variedades com uma temperatura mínima de desenvolvimento baixa, deveriam corresponder a variedades precoces, pois tem a capacidade de começar a acumular unidades de força mais cedo. Porém, para que esta análise fosse possível, seria essencial que a data de início do modelo fosse a mesma para todas as variedades.

Impacto da variedade na parametrização

A figura 20 obteve-se sobrepondo os resultados da mesma variedade em diferentes locais. Observa-se a diversidade de respostas da função, resultado da influência local atrás descrita. Esta variação é evidente sobretudo nas temperaturas máximas e mínimas de desenvolvimento. Por outro lado, ao nível da temperatura ótima, ocorre muitas vezes a sobreposição do valor estimado.

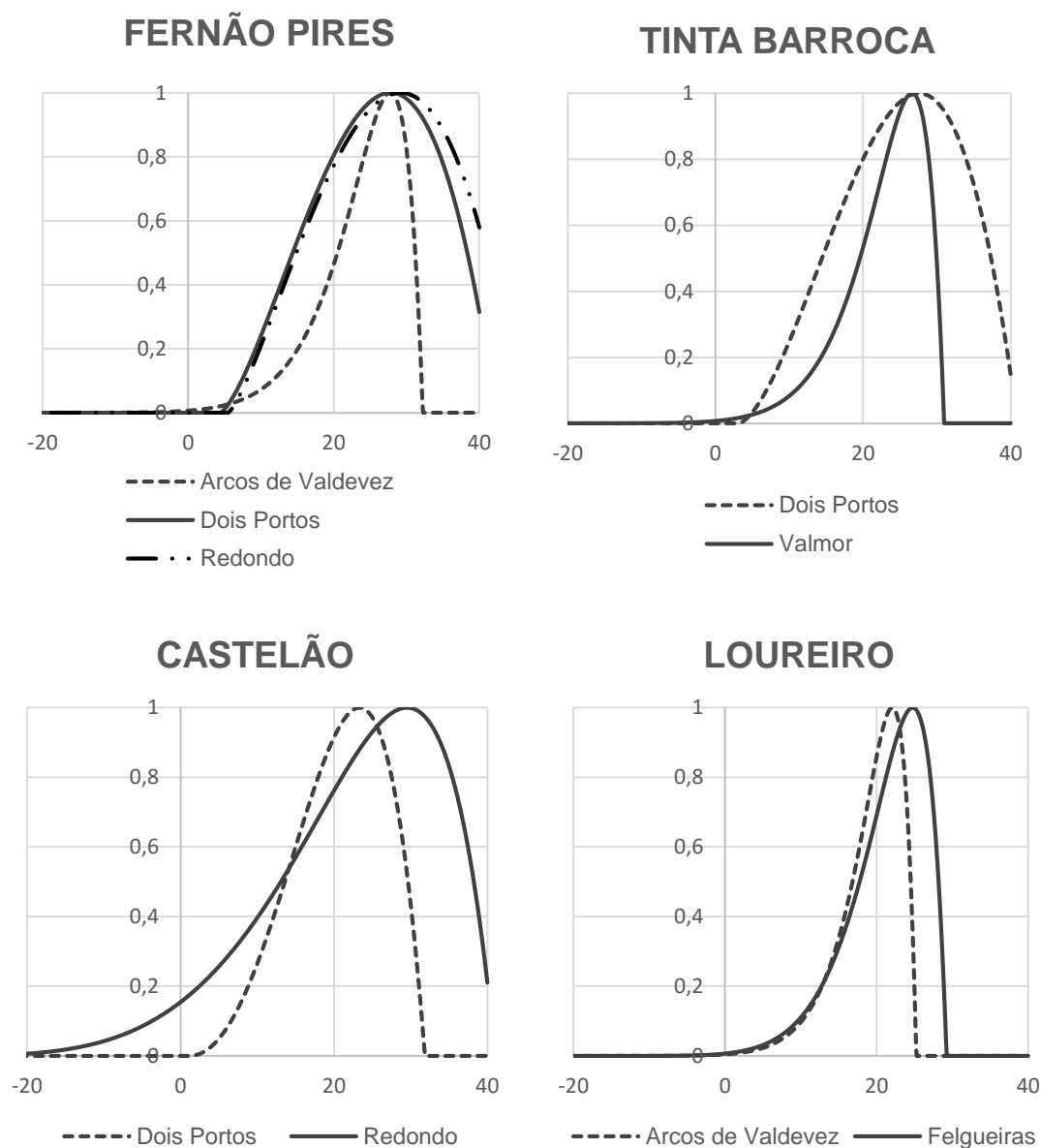


Figura 20 - Representação gráfica da função de Wang parametrizada para quatro diferentes variedades (Fernão Pires, Tinta Barroca, Castelão e Loureiro) e em para diferentes locais (Arcos de Valdevez, Dois Portos, Redondo, Valmor e Felgueiras). Foram apenas consideradas as funções estatisticamente significativas.

As variedades Tinta Barroca e Fernão Pires são excelentes exemplos da sobreposição descrita, sendo que a variações máxima da temperatura ótima é 1 e 1,4°C respetivamente. As variedades Loureiro e Castelão, apesar de apresentarem semelhanças na forma da resposta às temperaturas, existem diferenças acentuadas entre as temperaturas ótimas nos diferentes locais. Para a variedade Loureiro essa diferença é de 2,7°C e para a variedade Castelão a variação esta é ainda mais acentuada – 6,2°C.

A variabilidade observada para a mesma variedade e em diferentes locais pode ser explicada de duas formas. A primeira está relacionada com o processo estatístico da parametrização. Por estarem correlacionados, os diferentes parâmetros estimados dificultam a convergência para um ótimo global da função. Por exemplo, uma temperatura ótima de desenvolvimento mais elevada conjugada com uma t_0 mais precoce pode conduzir a uma previsão igualmente eficaz que uma temperatura ótima de desenvolvimento mais baixa conjugada com uma data inicial do modelo mais tardia.

A segunda possível explicação reside adaptabilidade dos seres vivos ao ecossistema em que estão inseridos. Por vezes observam-se fenómenos de adaptação em populações que se adaptam às condições locais, fruto da pressão ambiental. Isto permite o aumento da competência a determinadas condições edafoclimáticas.

Temperaturas ótimas de desenvolvimento

Nas figuras 21, 22 e 23 as temperaturas ótimas de desenvolvimento estimadas para cada uma das variedades em estudo são comparadas. Esta comparação é feita para o abrolhamento, floração e pintor. Quando para a mesma variedade se obtiveram diferentes temperaturas ótimas foi utilizada a temperatura do modelo com um R^2 maior, quando se observaram mais do que um modelo com um mesmo R^2 , e com temperaturas ótimas diferentes, foi calculada a média aritmética destas temperaturas. Na variedade Chasselas foi ignorada a temperatura estimada em Arcos de Valdevez devido à dimensão da série utilizada, em comparação com a série de Dois Portos.

ABROLHAMENTO

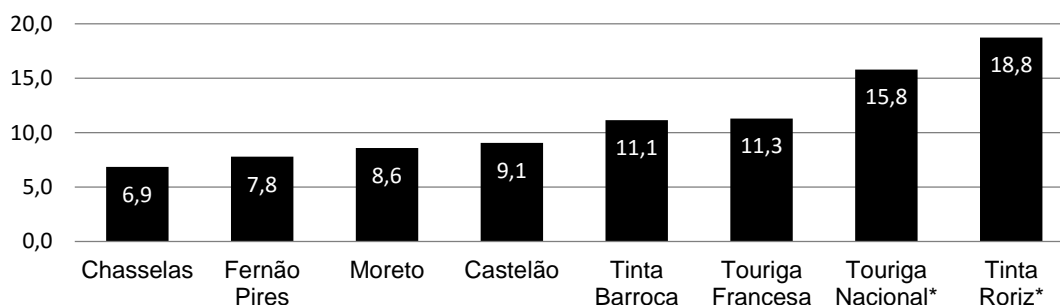


Figura 21 - Temperaturas ótimas de desenvolvimento estimadas para a função de Wang parametrizada ao estado de abrolhamento. Quando disponível mais do que uma série para a mesma variedade optou-se pelo modelo com maior R^2 . Na existência de mais que um modelo com o mesmo R^2 , foi calculou-se a média aritmética entre as temperaturas ótimas de desenvolvimento (assinalado com um *).

FLORAÇÃO

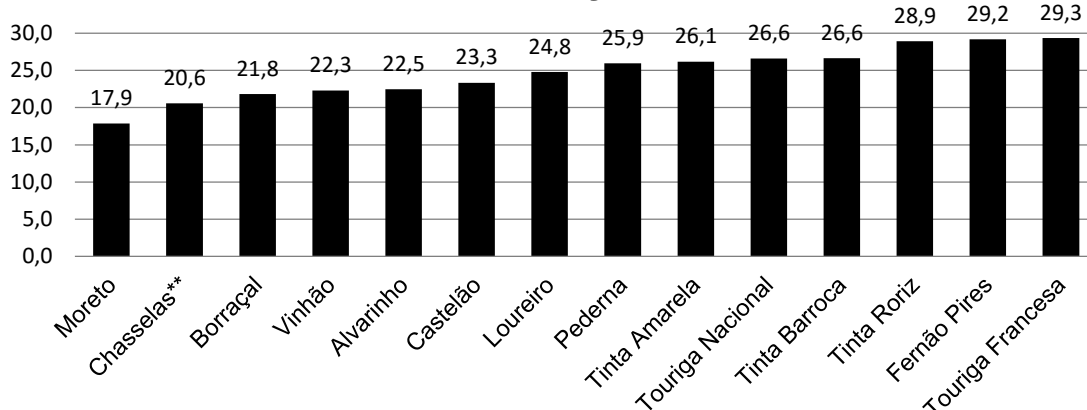


Figura 22 - Temperaturas ótimas de desenvolvimento estimadas para a função de Wang parametrizada ao estado de abrolhamento. Quando disponível mais do que uma série para a mesma variedade optou-se pelo modelo com maior R^2 . Na variedade Chasselas (assinalada com **), desprezou-se o modelo com maior R^2 por este ter resultado da parametrização de uma série muito pequena.

PINTOR

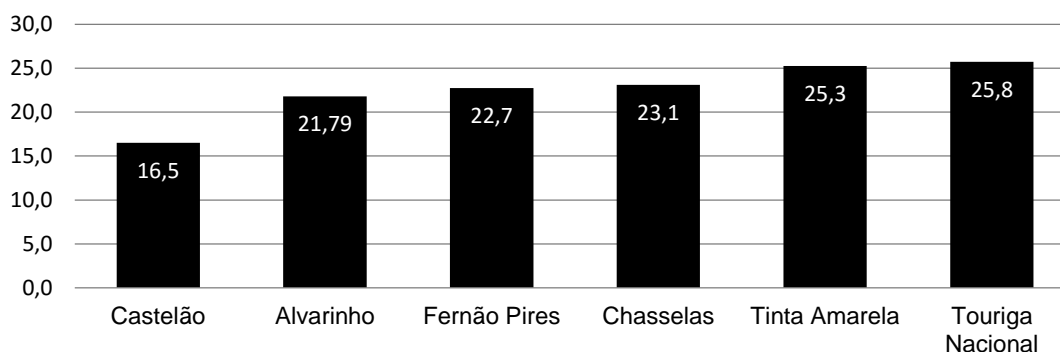


Figura 23 - Temperaturas ótimas de desenvolvimento estimadas para a função de Wang parametrizada ao estado de abrolhamento. Quando disponível mais do que uma série para a mesma variedade optou-se pelo modelo com maior R^2 .

Tal como referido anteriormente, sabe-se que se tivesse sido arbitrada uma data de t_0 comum a todos os modelos, as variedades iriam em teoria, organizar-se por ordem crescente de precocidade. Variedades com temperaturas ótimas mais baixas, por poderem acumular as unidades de forçagem mais rapidamente seriam mais precoces, enquanto variedades com temperaturas ótimas mais elevadas levariam mais tempo a atingir as mesmas necessidades.

Apesar de não ser possível observar este pressuposto referido, ainda assim, verifica-se que variedades com temperaturas ótimas mais altas correspondem a variedades habitualmente cultivadas em locais expostos a temperaturas mais altas, nomeadamente Touriga Nacional, Touriga Francesa, Tinta Roriz e Tinta Barroca, enquanto variedades como Alvarinho e Loureiro, típicas da Região dos Vinhos Verdes – a região vitivinícola mais fria de entre as regiões em estudo – apresentam temperaturas ótimas mais baixas.

Observam-se também algumas correspondência com os resultados de Lopes (2008), apesar de também se observarem algumas incoerências entre os dois trabalhos. A variedade Touriga Francesa, considerada por Lopes uma variedade de ciclo curto, nos resultados deste trabalho é a variedade com uma temperatura ótima de desenvolvimento (floração) mais elevada. Tinta Roriz, a segunda variedade com uma temperatura ótima mais alta para a floração é considerada por Lopes uma variedade de ciclo médio e a variedade Touriga Nacional, que apresenta a quinta temperatura mais alta, é considerada uma variedade de ciclo curto pelo mesmo estudo.

3.2 Modelos térmicos da maturação

Pela importância económica da colheita, os modelos de previsão da maturação são particularmente relevantes. Na tabela 20 apresentam-se os resultados da parametrização da função de Wang para a previsão da data de Maturação.

Tabela 19 - Resultados das parametrizações do modelo WF Matur. São apresentados os resultados da melhor repetição*. n – número de observações utilizadas na parametrização do modelo; t0 – dia de início do modelo; F* - valor acumulado de unidades de calor; topt – temperatura ótima de desenvolvimento; tmin – temperatura mínima de desenvolvimento; tmax – temperatura máxima de desenvolvimento; R² – coeficiente de determinação; AIC – critério de informação Akaike; MAD – desvio médio absoluto e RMSE – desvio médio quadrático.

Local (Região)	Variedade	n	PARÂMETROS DO MODELO					ANÁLISE ESTATÍSTICA			
			t0 (dias)	F* []	topt (°C)	tmin (°C)	tmax (°C)	R2 []	AIC []	MAD (dias)	RMSE (dias)
Reguengos (Alentejo)	Castelão	10	227	5,3	8,3	8,1	39,2	0,37	34,4	1,9	5,6
	Moreto	10	250	2	22,3	-4,9	22,4	0,42	34,9	2,2	6,3
	Tinta Roriz	10	227	8,5	22	10	28,3	0,35	34,7	2,1	5,9
Arcos de Valdevez (Vinhos Verdes)	Alvarinho	12	222	8,3	26,4	2,2	26,1	0,43	51,2	4,1	8,0
	Borraçal	11	-33	261	2,9	-40	50	0,71*	56,5	5,3	2,5
	Loureiro	14	115	120,6	24,1	-2,2	24,6	0,35	65,9	5,0	2,6
	Vinhão	14	252	11,4	14,3	8,9	230	0,15	74,1	6,2	2,6

*O processo de parametrização realizado, com o recurso ao algoritmo SA, estima 20 repetições. Aquela com menores MAD e RMSE e maior R² foi considerada a melhor repetição e apresentada nesta tabela.

O modelo WF Matur para a variedade Borraçal foi o único a apresentar significância para $p > 0,05$ entre todos os resultados. Do ponto de vista fisiológico este modelo não parece estar correlacionado com o comportamento videira dado que este se inicia no fim de Novembro do ano anterior, tem como temperatura ótima de desenvolvimento 2,9°C e como temperaturas máximas e mínimas os 50 e -40°C respetivamente. Neste caso, o R² elevado do modelo parece resultar de um processo de convergência estatística eficaz, mas não eficiente. A inexistência de validade fisiológica compromete, à partida, a utilização deste modelo em outros contextos.

A dificuldade observada na modelação da data de maturação, foi já discutida nos capítulos anteriores e resulta da dificuldade em determinar a data de maturação à vista desarmada. Esta limitação condiciona a recolha de dados com a qualidade necessária para uma parametrização adequada.

3.3 Avaliação do efeito do Porta-Enxerto

Na tabela 21 compara-se o desempenho do processo de parametrização separando as observações realizadas por variedade e por porta-enxerto, com as parametrizações realizadas separando apenas as observações ao nível da variedade.

Tabela 20 – Comparação dos parâmetros estimados para o modelo WF Abro para a Quinta da Cavadinha com e sem tendo em consideração o porta-enxerto. Cada bardo corresponde a um diferente porta-enxerto.

Variedade	Bardo	n=	PARÂMETROS DO MODELO					ANÁLISE ESTATÍSTICA			
			t0 (dias)	F* []	topt (°C)	tmin (°C)	tmax (°C)	R2 []	AIC []	MAD (dias)	RMSE (dias)
Tinta Barroca	196-17	10	52,6	23,6	14,3	1,5	30,7	0,84**	29,7	1,4	2,0
	R100	10	53,5	24,2	11,4	5,0	50,0	0,81**	34,5	2,2	2,5
	R.Lot	10	51,9	21,7	11,3	5,0	23,9	0,86**	34,1	1,7	2,5
	196-17, R100 e R.Lot	30	52,3	23,7	11,1	5,0	34,0	0,83**	67,9	2,0	2,6
Tinta Roriz	196-17	10	50,8	26,0	15,7	3,0	50,0	0,81**	34,6	2,0	2,5
	R100	10	51,4	27,3	15,5	2,5	50,0	0,80**	33,1	1,7	2,3
	R.Lot	10	-8,8	58,1	25,5	-26,2	46,4	0,74**	37,2	2,3	2,9
	196-17, R100 e R.Lot	30	-4,0	68,7	17,0	-34,1	33,1	0,67**	80,1	2,6	3,2
Touriga Francesa	196-17	10	53,5	22,5	11,2	5,0	40,7	0,80**	36,3	2,4	2,8
	R100	10	53,4	22,4	13,2	2,5	25,4	0,81**	34,7	1,9	2,5
	R.Lot	10	56,4	18,1	12,7	2,3	20,6	0,88**	30,3	1,6	2,0
	196-17, R100 e R.Lot	30	53,8	21,8	11,3	5,0	30,0	0,82**	66,4	2,2	2,6
Touriga Nacional	196-17	10	53,3	23,6	14,3	1,5	30,7	0,84**	29,7	1,4	2,0
	R100	10	54,9	21,1	14,0	1,5	25,7	0,81**	34,2	1,8	2,5
	R.Lot	10	56,3	21,5	12,2	5,0	47,5	0,80**	34,8	2,0	2,6
	196-17, R100 e R.Lot	30	56,1	22,4	20,4	2,3	20,4	0,82**	61,0	2,0	2,3

*O processo de parametrização realizado, com o recurso ao algoritmo SA, estima 20 repetições. Aquela com menores MAD e RMSE e maior R² foi considerada a melhor repetição e apresentada nesta tabela.

Com a exceção às parametrizações do modelo WF Abro para Tinta Roriz, a variação do R² entre as duas abordagens propostas nunca ultrapassou os 14 pontos percentuais. Para Tinta Roriz, o R² dos modelos que diferenciam os diferentes porta-enxertos, variou entre 74% e 81%, enquanto o modelo parametrizado utilizando todas as observações em simultâneo, resultou num R² de 67%. Apesar de o AIC ser inferior nos modelos onde não são diferenciados os porta-enxerto, isto deve-se ao maior número de resíduos que por sua vez resulta do maior número de observações. Os restantes indicadores estatísticos apontam para que o ganho resultante desta diferenciação não justifica o esforço adicional em caracterizar cada porta-enxerto, para cada variedade.

3.4 Modelos térmicos com integração da Dormência

Nas tabelas 21 e 22 os resultados dos modelos térmicos, com integração da dormência são apresentados. Os modelos em questão são o modelo Paralelo e Sequencial para o estado fenológico abrolhamento.

Após uma análise geral dos resultados obtidos, é analisado o impacto da integração da dormência na estimativa da data de abrolhamento, comparando-se modelos com e sem a integração da dormência.

O R^2 médio dos modelos obtidos através da parametrização do modelo paralelo foi 76%, e no modelo sequencial foi de 74%. Ambos os modelos resultaram em apenas 1 parametrização estatisticamente não significativa e em ambas as situações para a variedade Tinta Roriz em Reguengos. No modelo paralelo os valores médios de MAD e RMSE foram 1,3 e 2,3 dias, enquanto no modelo sequencial estes valores foram 1,4 e 2,4 dias.

De acordo com o referido no capítulo dedicado aos Modelos Fenológicos, considera-se que a acumulação de unidades de frio acontece a partir de DOY = 304 (1 de Novembro) do ano $n-1$, sendo que esta data pode ser também representada por DOY = - 61. Neste estudo, apenas em três circunstâncias o t_0 da acumulação de unidades de frio foi próxima de DOY = -61. Os valores médios para este parâmetro foram 2,1 no modelo paralelo e 2,7 dias no modelo sequencial. Estes valores não representam, em teoria, uma data realista para a entrada em dormência.

Uma análise ao AIC médio de cada modelo, indica o modelo sequencial como uma melhor alternativa que o modelo paralelo. Dado que o R^2 médio foi superior no modelo paralelo, o resultado do AIC sugere que os 2 parâmetros adicionais, necessários no modelo paralelo, não se refletem numa performance suficientemente superior, que justifique o esforço adicional na sua estimação. Adicionalmente, o maior número de parâmetros de um modelo prejudica a sua robustez e dificulta a sua portabilidade.

Tabela 21 - Resultados das parametrizações do modelo Paralelo. São apresentados os resultados da melhor repetição*. n – número de observações utilizadas na parametrização do modelo; t0 Chill – dia de início da acumulação de unidades de Frio; t0 Forc – dia de início da acumulação de unidades de calor; C* - valor acumulado de unidades de frio; F* - valor acumulado de unidades de calor; tlow e thigh – parametros da função de Richardson; topt, tmin e tmax – parametros da função triangular; d e e – parametros da função Sigmoid; R² – coeficiente de determinação; AIC – critério de informação Akaike; MAD – desvio médio absoluto e RMSE – desvio médio quadrático

Região	Local	Variedade	n=	t0 Chill (dias)	t0 Forc. (dias)	C* []	F* []	tlow (°C)	thigh (°C)	topt (°C)	tmin (°C)	tmax (°C)	d []	e []	R2 []	AIC []	MAD (dias)	RMSE (dias)
Alentejo	Redondo	Castelão	9	-35,8 (33,6)	80,8 (27,3)	36,3 (99,8)	438,1 (135,2)	16,9 (4,7)	25,6 (7,5)	9,0 (6,9)	4,0 (6,5)	37,9 (11,1)	-0,2 (16,1)	12,7 (5,7)	0,66 **	149 ,0	5,1	5,8
		Fernão Pires	11	25,1 (15)	25,6 (78,1)	63,8 (115,9)	303,7 (98,8)	19,6 (7,1)	29,5 (7,5)	21,1 (8,2)	2,0 (4,4)	26,7 (3,5)	-0,5 (14,1)	12,7 (4,1)	0,77 **	152 ,9	3,2	3,9
		Moreto	14	-27,7 (39,3)	82,0 (30,3)	40,4 (30,3)	321,4 (148,1)	16,8 (5,2)	23,2 (9,8)	8,3 (7,8)	4,5 (8,5)	50,0 (13,2)	-39,8 (12)	12,9 (1,6)	0,66 **	111 ,1	5,6	7,6
		Tinta Roriz	17	37,4 (37,1)	19,4 (30,6)	-201,2 (147,5)	91,8 (128)	18,3 (4,9)	40,0 (8,0)	25,4 (8,4)	-4,0 (4,9)	42,8 (11,3)	-40 (16,2)	6,4 (10,5)	0,55 **	118 ,7	5,1	6,4
	Reguengos	Castelão	17	-22,8 (39,3)	83,3 (35,5)	129,3 (103,9)	202,6 (179,8)	6,5 (5,7)	47,1 (9,9)	10,3 (7,1)	-16,0 (3,1)	20 (14,9)	-30,4 (13,8)	15,4 (10,9)	0,48 **	77, 6	2,8	4,0
		Moreto	9	3,4 (53,5)	67,1 (48,1)	132,1 (57,7)	225 (164,4)	15,5 (5,9)	38 (7,8)	9,7 (7,9)	-38,2 (6,6)	21,0 (14,9)	-40 (14,9)	15,6 (12,2)	0,30	80, 5	3,2	4,3
		Tinta Roriz	9	43,4 (46,9)	25,2 (43,1)	127,8 (25,5)	126,7 (138,6)	8,0 (5,4)	35,6 (7,9)	8,2 (9,7)	-9,3 (2,6)	20,0 (9,2)	-40,0 (17)	18,4 (12,2)	0,52	76, 7	2,8	3,9
		Douro	Cavadinha	Tinta Barroca	9	52,3 (15,4)	22,5 (10,9)	75,5 (145)	284,7 (123,4)	18 (4,7)	40,8 (7,3)	6,9 (7,4)	4,1 (3,0)	44,5 (5,2)	-0,3 (14,6)	2,5 (11,5)	0,76 **	148 ,6
Tinta Roriz	9			51,3 (26)	20,7 (16,9)	75 (137,3)	179,4 (109,7)	17,2 (4,0)	42,3 (10,1)	8,0 (9,6)	4,0 (5,7)	28,5 (8,6)	-0,1 (15,3)	1,8 (12,2)	0,74 **	143 ,4	2,1	2,8
Touriga Francesa	9			51,3 (31,2)	22,3 (21,3)	21,2 (150,4)	188,6 (114,5)	17,5 (6,1)	29,3 (8,6)	8,0 (9,7)	4,3 (5,8)	46,2 (10,1)	-0,1 (15,3)	2,5 (11,5)	0,82 **	125 ,6	1,8	2,4
Touriga Nacional	9			51,3 (21,3)	75,9 (12,5)	24,8 (137,2)	262,3 (96,4)	9,9 (3,0)	47,5 (8,1)	12,8 (9,9)	-5,8 (5,7)	37,0 (9,7)	-0,1 (13,4)	-1,2 (14,8)	0,79 **	129 ,3	1,9	2,4
Tinta Amarela	16			14,5 (16,1)	33,9 (8,9)	80,8 (76,8)	294,6 (111,1)	19,7 (5,4)	35,0 (9,5)	22,9 (8,1)	-2,4 (4,4)	28,1 (8,5)	-9,2 (12,1)	17,2 (0,4)	0,78 **	109 ,9	3,4	3,9
Valmor	Tinta Barroca		19	30,3 (14,5)	24,2 (10,9)	58,7 (65)	131,1 (121,6)	12,2 (5,2)	25,9 (7,7)	19,8 (9,3)	-1,1 (3,9)	43,6 (8,9)	-0,2 (5,2)	22,6 (2,1)	0,78 **	151 ,7	3,1	3,9
	Tinta Roriz		19	5,5 (5,5)	24,1 (6,9)	52,7 (131,4)	358,4 (108,8)	11,5 (5,4)	38,7 (8,4)	18,5 (12,7)	-7,7 (2,7)	20,0 (4,1)	-0,1 (0,1)	28,2 (3,3)	0,65 **	140 ,4	3,4	4,4
	Touriga Francesa		19	12,8 (21,7)	49,4 (18,5)	-120,8 (117,9)	303 (98,5)	9,3 (5,1)	34,2 (10)	16,5 (8,9)	-4,6 (5,9)	50,0 (6,1)	-0,2 (13,3)	24,8 (12,4)	0,61 **	148 ,0	3,7	4,8
	Touriga Nacional		19	60,1 (16,6)	84 (15,3)	20,1 (149,9)	42,4 (129,4)	19,5 (6,2)	42,4 (9,5)	7,5 (10,7)	6,6 (5,8)	41,9 (14,7)	-40 (11,8)	11 (12)	0,83 **	54, 3	2,6	3,8
	Torres Vedras		Dois Portos	Castelão	24	23,2 (13,7)	21,7 (12,6)	65,6 (105,4)	168,8 (113,7)	17,6 (3,0)	28,6 (8,0)	22,0 (9,8)	3,3 (4,7)	25,1 (2,1)	-0,3 (10,9)	13,7 (10,3)	0,70 **	172 ,9
Chasselas		24		24,8 (17,8)	22,7 (13,2)	62,8 (101)	225,8 (99,2)	17,6 (4,9)	30,2 (8,6)	19,5 (7,2)	4,6 (2,9)	26 (2,1)	-0,4 (11,3)	13,5 (2,1)	0,74 **	164 ,0	3,2	4,4

		Fernão Pires	24	25,1 (21,5)	26,3 (91,2)	64,5 (95,1)	312,1 (135,5)	20,0 (6,0)	27,5 (8,4)	20,6 (8,1)	2,1 (4,4)	27,4 (4,9)	-0,5 (11)	12,7 (3,8)	0,77 **	153 ,4	3,2	3,9
		Tinta Barroca	19	-22,7 (87,2)	44,4 (78,7)	57,0 (144,8)	485,4 (112,3)	17,3 (4,9)	38,6 (8,7)	22,0 (9,5)	3,7 (5,4)	25,6 (3,3)	-0,1 (12,6)	21,7 (3,8)	0,72 **	145 ,2	3,3	4,7
		Touriga Nacional	17	27,0 (22,1)	24,4 (16,1)	63,0 (98,2)	440,1 (108,6)	15,1 (4,4)	39,6 (8,1)	21,1 (8,4)	2,7 (4,5)	32,7 (11,3)	-0,6 (15,8)	13,1 (0,9)	0,71 **	139 ,5	3,6	4,7
		Alvarinho	24	27,3 (18,1)	91,9 (16)	36,1 (70,6)	315,5 (110,9)	18,1 (5,6)	44,7 (7,7)	17,7 (9,9)	-6,1 (4,5)	20 (13,5)	-0,5 (9,5)	17,7 (2,7)	0,68 **	161 ,4	3,6	4,3
		Borraçal	24	60,2 (14,7)	21,4 (10,4)	67,9 (127)	103,6 (121,3)	17,6 (6,0)	49,2 (9,4)	16,3 (9,6)	-3,5 (6,3)	26,4 (7,6)	-0,3 (10,7)	16,5 (1,1)	0,62 **	177 ,6	4,0	5,1
		Chasselas	7	38,5 (53,8)	55,5 (38,7)	26,7 (135,5)	335,4 (119,9)	20,0 (4,0)	27,0 (9,0)	6,8 (8,5)	6,8 (6,3)	20,8 (15,9)	-0,8 (15,1)	12 (1,3)	0,89 **	46, 0	1,8	2,4
		Fernão Pires	24	29,8 (14,3)	29,0 (13,5)	57,0 (17,5)	193,0 (138,3)	11,6 (4,2)	38,9 (9,0)	15,3 (9,8)	0,3 (3,8)	24,0 (7,5)	-0,2 (8,6)	22,9 (3,6)	0,78 **	152 ,5	3,1	3,9
		Loureiro	24	22,9 (19,9)	29,6 (14,9)	69,5 (123,2)	377,1 (89,3)	12,2 (5,4)	30,1 (9,2)	29,0 (10,6)	-6,2 (5,5)	36,2 (10)	-0,3 (3,5)	18,5 (1,3)	0,65 **	166 ,9	3,6	4,5
		Vinhão	24	54,2 (20,1)	31,2 (15,8)	84,2 (43,1)	339,2 (94,2)	17,9 (5,5)	33,8 (7,5)	8,7 (8,1)	7,9 (5,2)	37,9 (13,7)	-0,4 (11,2)	16,5 (2,4)	0,60 **	173 ,9	3,8	4,9

*O processo de parametrização realizado, com o recurso ao algoritmo SA, estima 20 repetições. Aquela com menores MAD e RMSE e maior R² foi considerada a melhor repetição. Foi ainda estimado e apresentado entre parentesis, o desvio padrão entre as 20 repetições calculadas para cada um dos parametros apresentados.

Tabela 22 - Resultados das parametrizações do modelo Sequencial. São apresentados os resultados da melhor repetição*. n – número de observações utilizadas na parametrização do modelo; t0 – dia de início do modelo; C* - valor acumulado de unidades de frio; F* - valor acumulado de unidades de calor; topt, tmin e tmax – parâmetros da função triangular; d e e – parâmetros da função Sigmoid; R² – coeficiente de determinação; AIC – critério de informação Akaike; MAD – desvio médio absoluto e RMSE – desvio médio quadrático

				PARÂMETROS GERAIS			FUNÇÃO TRIANGULAR			FUNÇÃO SIGMOIDE		ANÁLISE ESTATÍSTICA			
Região	Local	Variedade	n=	t0. (dias)	C* []	F* []	topt (°C)	tmin (°C)	tmax (°C)	d []	e []	R2 []	AIC []	MAD (dias)	RMSE (dias)
Alentejo	Redondo	Castelão	9	-35,5 (3,6)	79,8 (4,7)	12,7 (8,6)	9,0 (3,5)	4,3 (6,6)	34,9 (5,3)	-0,1 (0,1)	25,3 (4,2)	0,73 **	134, 6	4,3	5,2
		Fernão Pires	11	24,2 (14,8)	38,2 (8,1)	8,5 (10,4)	13,6 (4,1)	4,5 (1,4)	50,0 (8,6)	-0,2 (0,4)	27,4 (3,8)	0,77 **	147, 4	3,0	3,9
		Moreto	14	-28,2 (1,8)	78,7 (2,8)	39,5 (6,8)	6,7 (3,7)	6,6 (6,1)	47,2 (4,5)	-0,4 (15,9)	12,3 (1,0)	0,53 **	175, 7	3,7	5,3
		Tinta Roriz	17	-24,7 (2,8)	82,0 (5,9)	35,0 (9,3)	10,0 (6,5)	0,9 (13,8)	50 (5,6)	-0,1 (0,3)	13,3 (2,1)	0,50 **	115, 5	5,4	6,8
	Reguengos	Castelão	17	56,3 (40,0)	9,6 (36,4)	61,7 (0,7)	4,8 (2,8)	3,3 (16,1)	20 (5,4)	-40 (9,2)	9,0 (0,5)	0,12	81,9	4,3	5,2
		Moreto	9	-51,9 (86,5)	119,2 (68,8)	2,8 (23,7)	9,9 (9,4)	-28,1 (15,7)	23,7 (7,8)	-5,0 (14,1)	21,7 (17,2)	-0,10	83,2	4,5	5,4

*O processo de parametrização realizado, com o recurso ao algoritmo SA, estima 20 repetições. Aquela com menores MAD e RMSE e maior R² foi considerada a melhor repetição. Foi ainda estimado e apresentado entre parentesis, o desvio padrão entre as 20 repetições calculadas para cada um dos parametros apresentados.

Douro	Cavadinha	Tinta Roriz	9	32,7 (33,2)	34,0 (31,3)	1,0 (17,9)	8,6 (2,6)	-9,7 (13,5)	20,0 (1,6)	-8,2 (10,8)	22,3 (4,2)	0,17	81,7	4,0	5,2
		Tinta Barroca	9	47,7 (27,6)	23,9 (16,9)	40,7 (7,3)	10,7 (6,2)	0,5 (7,5)	29,0 (8,1)	-0,2 (7,2)	8,8 (8,5)	0,54 **	181, 9	3,2	4,0
		Tinta Roriz	9	47,9 (20,2)	26,4 (14,3)	43,9 (8,1)	11,1 (5,9)	-1,6 (8,1)	30,6 (8,4)	-0,2 (0,1)	8,0 (5,8)	0,44 **	182, 7	3,3	4,0
		Touriga Francesa	9	52,4 (29,9)	20,2 (17,8)	41,2 (4,3)	11 (5,9)	1,5 (7,8)	27,5 (9)	-0,2 (0,1)	9,4 (1,1)	0,54 **	174, 2	3,0	3,7
		Touriga Nacional	9	53 (22,8)	21,5 (14,2)	42,7 (3,6)	11 (4,3)	0,5 (7,7)	36,8 (10,1)	-0,2 (0,1)	9 (0,8)	0,46 **	179, 0	3,0	3,9
	Valmor	Tinta Amarela	16	14,9 (3,8)	33,7 (6,8)	20,5 (0,7)	22,6 (3,8)	-1,8 (1,6)	28 (10,1)	-8,7 (6,8)	17,3 (0,1)	0,75 **	107, 9	3,5	4,2
		Tinta Barroca	19	7,5 (3,7)	47,4 (9,3)	9,8 (6,7)	16 (3,7)	-0,7 (1,1)	20 (8,8)	-0,2 (0,1)	23,5 (2,4)	0,61 **	154, 9	4,6	5,7
		Tinta Roriz	19	17,8 (11,9)	36,8 (11,7)	30,0 (11,9)	24,6 (3,6)	-7,9 (3,8)	46,3 (11,4)	-0,2 (0,2)	15,8 (9,1)	0,54 **	145, 1	4,0	5,0
		Touriga Francesa	19	13,8 (7,9)	48,7 (10,6)	20,1 (15,4)	16,5 (3,7)	-4,4 (7,3)	50 (9)	-0,2 (9,9)	19 (10)	0,45 **	155, 6	4,3	5,7
		Touriga Nacional	19	75,7 (16,8)	4,4 (15,7)	35,5 (3,8)	10,3 (3,3)	-40 (12,9)	20,0 (1,5)	-40 (3,4)	14 (0,6)	-0,2	71,8	7,1	10,2
Torres Vedras	Dois Portos	Castelão	24	-8 (10,4)	54,7 (10,5)	23,7 (7,3)	14,3 (2,9)	3,9 (0,9)	42,8 (8,3)	-0,2 (0,1)	17,6 (2)	0,75 **	157, 9	3,4	4,4
		Chasselas	24	-8,2 (14,6)	52,1 (9)	19,1 (5,5)	15,8 (2,2)	3,1 (0,9)	31,3 (8)	-0,2 (0,1)	19,6 (1,6)	0,73 **	160, 6	3,1	4,5
		Fernão Pires	24	24 (13,5)	32,3 (10)	30,7 (6,2)	16,1 (2,9)	3,8 (1,5)	34,2 (9,2)	-0,3 (0,2)	15,3 (1,1)	0,76 **	149, 8	3,1	4,0
		Tinta Barroca	19	-21,7 (78,4)	57,2 (78,6)	28,5 (7,1)	18,1 (3,6)	3,2 (2,3)	32 (9,1)	-0,3 (0,2)	15,7 (2,3)	0,75 **	134, 9	3,2	4,4
		Touriga Nacional	17	-4,8 (13,6)	46,4 (8,4)	12 (7,4)	20,5 (2,4)	-1 (2)	27,6 (7,9)	-0,2 (0,2)	24,1 (2,3)	0,74 **	128, 9	3,2	4,4
Vinhos Verdes	Arcos de Valdevez	Alvarinho	24	36,6 (9,5)	33,5 (9,2)	13 (7,4)	12,9 (6,1)	0 (3,7)	39,2 (10)	-0,2 (0)	22,6 (4,3)	0,73 **	146, 8	3,2	3,9
		Borraçal	24	22,9 (3,5)	46 (6,1)	22,7 (4)	16,1 (4,1)	-3,4 (3,5)	20,2 (10,8)	-0,3 (0,1)	16,7 (0,9)	0,66 **	165, 4	3,6	4,7
		Chasselas	7	-120 (64,2)	153,1 (51,8)	27,1 (3,8)	15,8 (3,3)	-32 (17)	20 (6,2)	-0,3 (5,6)	15,5 (1,2)	0,92 **	35,7	1,5	2,0
		Fernão Pires	24	29,4 (6,1)	15,6 (8,0)	6,2 (8,4)	27,3 (4,8)	1,3 (2,3)	40,8 (10,2)	-0,2 (0,1)	28,5 (3,4)	0,81 **	139, 6	2,9	3,6
		Loureiro	24	22,7 (6,4)	44,7 (9,0)	24,6 (4,6)	14,6 (4,8)	-0,8 (2,9)	20 (9,6)	-0,3 (0,1)	16,2 (1,5)	0,69 **	155, 1	3,2	4,3
		Vinhão	24	54,7 (9,9)	30,9 (6,9)	28,1 (2,8)	10,3 (4)	7,1 (4,7)	41,9 (7,8)	-0,4 (0,1)	15,5 (0,6)	0,51 **	177, 4	3,8	5,4

*O processo de parametrização realizado, com o recurso ao algoritmo SA, estima 20 repetições. Aquela com menores MAD e RMSE e maior R^2 foi considerada a melhor repetição. Foi ainda estimado e apresentado entre parentesis, o desvio padrão entre as 20 repetições calculadas para cada um dos parametros apresentados.

Impacto do microclima local na escolha do modelo

Ao analisar os resultados das tabelas 21 e 22, é possível observar um padrão no que diz respeito aos parâmetros R^2 , MAD e RMSE, sendo que de forma geral o modelo sequencial apresenta um desempenho estatístico superior para todos os locais e regiões, à exceção do Douro onde o modelo paralelo é o modelo com melhor comportamento.

A Região Demarcada do Douro é uma região que se caracteriza por elevadas amplitudes térmicas, sendo por isso expectável que enquanto ainda são acumuladas unidades de frio já se observem temperaturas que contribuam para o desenvolvimento da videira.

Comparação de modelos térmicos com e sem a integração da dormência

A tabela 23 compara o R^2 e o RMSE dos modelos paralelo e sequencial, com o modelo WF Abro. Calculou-se a diferença do R^2 e RMSE destes dois indicadores, com os homólogos para o modelo WF Abro.

Tabela 23 – Comparação do R^2 e RMSE do modelo térmico WF Abro e modelos térmicos Paralelo e Sequencial. $\Delta(1-3)$ e $\Delta(2-3)$ são a diferença entre os parâmetros estatísticos dos modelos térmicos com integração da dormência e os parâmetros dos modelos exclusivos de crescimento.

		n	Paralelo (1)	Sequencial (2)	WF Abro (3)	$\Delta(1-3)$	$\Delta(2-3)$
Alentejo	Redondo	Castelão	18 0,86 (2,7)	0,79 (3,3)	0,72 (5,4)	0,14 (-2,7)	0,07 (-2,1)
		Fernão Pires	11 0,91 (2,4)	0,89 (2,7)	0,83 (4,7)	0,08 (-2,3)	0,06 (-2,0)
		Moreto	13 0,95 (1,5)	0,81 (2,9)	0,72 (4,9)	0,23 (-3,4)	0,09 (-2,0)
		Tinta Roriz	16 0,83 (2,1)	0,9 (1,7)	0,67 (4,2)	0,16 (-2,1)	0,23 (-2,5)
	Reguengos	Castelão	10 0,74 (2,5)	0,63 (3)	0,48 (5)	0,26 (-2,5)	0,15 (-2,0)
		Moreto	10 0,86 (1,8)	0,7 (2,6)	0,43 (5,1)	0,43 (-3,3)	0,27 (-2,5)
Douro	Cavadinha	Tinta Roriz	10 0,65 (3,4)	0,62 (3,1)	0,49 (5,1)	0,16 (-1,7)	0,13 (-2,0)
		Tinta Barroca	30 0,9 (1,4)	0,95 (1)	0,83 (2,6)	0,07 (-1,2)	0,12 (-1,6)
		Tinta Roriz	30 0,87 (1,4)	0,92 (1,1)	0,67 (3,2)	0,20 (-1,8)	0,25 (-2,1)
		Touriga Francesa	30 0,92 (1,2)	0,94 (1,1)	0,82 (2,6)	0,10 (-1,4)	0,12 (-1,5)
	Valmor	Touriga Nacional	30 0,91 (1,2)	0,9 (1,2)	0,82 (2,3)	0,09 (-1,1)	0,08 (-1,1)
		Tinta Amarela	17 0,72 (2,4)	0,83 (1,9)	0,61 (4,0)	0,12 (-1,6)	0,23 (-2,1)
		Tinta Barroca	20 0,57 (3,7)	0,7 (3,1)	0,54 (5,4)	0,03 (-1,7)	0,16 (-2,3)
		Tinta Roriz	20 0,51 (2,4)	0,54 (2,4)	0,46 (3,6)	0,05 (-1,2)	0,08 (-1,2)
		Touriga Francesa	20 0,57 (2,5)	0,69 (2,1)	0,54 (3,6)	0,03 (-1,1)	0,15 (-1,5)
		Touriga Nacional	6 0,96 (0,8)	0,8 (1,7)	0,62 (3,3)	0,34 (-2,5)	0,18 (-1,6)
Torres Vedras	Dois Portos	Castelão	24 0,76 (3,1)	0,79 (3,0)	0,69 (5,0)	0,07 (-1,9)	0,10 (-2,0)
		Chasselas	24 0,77 (3,0)	0,74 (3,2)	0,64 (5,3)	0,13 (-2,3)	0,10 (-2,1)
		Fernão Pires	24 0,81 (2,5)	0,78 (2,7)	0,69 (4,5)	0,12 (-2,0)	0,09 (-1,8)
		Tinta Barroca	20 0,8 (3)	0,76 (3,2)	0,68 (5,3)	0,12 (-2,3)	0,08 (-2,1)
		Touriga Nacional	19 0,7 (2,9)	0,73 (2,8)	0,53 (5,2)	0,17 (-2,3)	0,20 (-2,4)
Vinhos Verdes	Arcos de Valdevez	Alvarinho	24 0,65 (2,3)	0,63 (2,3)	0,52 (3,7)	0,13 (-1,4)	0,11 (-1,4)
		Borraçal	24 0,54 (3,3)	0,43 (3,7)	0,35 (5,6)	0,19 (-2,3)	0,08 (-1,9)
		Chasselas	7 0,89 (1,3)	0,83 (1,6)	0,67 (3,2)	0,22 (-1,9)	0,16 (-1,6)
		Fernão Pires	24 0,78 (2,1)	0,75 (2,2)	0,65 (3,7)	0,13 (-1,6)	0,1 (-1,5)
		Loureiro	24 0,65 (2,7)	0,58 (2,9)	0,51 (4,5)	0,14 (-1,8)	0,07 (-1,6)
		Vinhão	24 0,55 (3,2)	0,46 (3,5)	0,37 (5,3)	0,18 (-2,1)	0,09 (-1,8)

Observa-se uma maior capacidade explicativa dos modelos com integração da dormência, sendo que em média essa melhoria foi de 13% para o modelo sequencial e de 15% para o modelo paralelo. O aumento da capacidade explicativa dos modelos obtidos no modelo sequencial variou entre os 6 e 23% enquanto no modelo paralelo o aumento variou entre 3 e 43%.

Em linha com o aumento do R^2 , verificou-se a diminuição dos valores de MAD e RMSE. No modelo WF Abro o MAD e RMSE médio foi de 3,4 e 4,3 dias. No modelo sequencial os erros foram minimizados obtendo-se $MAD = 1,4$ e $RMSE = 2,4$, enquanto no modelo paralelo $MAD = 1,3$ e $RMSE = 2,3$.

Verifica-se assim que os erros médios foram reduzidos aproximadamente 2 dias.

4. Validação Intra e Inter-regional

Foram selecionados os modelos térmicos com um coeficiente de determinação igual ou superior a 75% e foi testada a sua robustez através de testes de portabilidade intra-regional e inter-regional. O resultado deste processo é apresentado nas tabelas 24, 25 e 26.

Tabela 24 – Resultados da validação intra-regional e inter-regional do modelo WF Abrolhamento.

WF Abrolhamento					
Variedade	Origem	Validação	R2 []	MAD (dia)	RMSE (dia)
Fernão Pires	Redondo	Dois Portos	-0,32	8,24	9,43
		Arcos de Valdevez	-6,00	14,65	16,44
Tinta Barroca	Cavadinha	Valmor	-0,20	7,04	8,70
		Dois Portos	-0,17	7,64	10,09
Touriga Francesa	Cavadinha	Valmor	-0,36	5,13	6,24
Touriga Nacional	Cavadinha	Valmor	-0,70	4,70	6,91
		Dois Portos	-0,06	5,74	7,77

Tabela 25 - Resultados da validação intra-regional e inter-regional do modelo WF Floração.

WF Floração					
Variedade	Origem	Validação	R2 []	MAD (dia)	RMSE (dia)
Castelão	Dois Portos	Redondo	-0,44	9,55	11,89
		Reguengos	-9,32	11,20	12,06
Chasselas	Dois Portos	Arcos de Valdevez	0,25	6,01	7,41
	Arvos de Valdevez	Dois Portos	-3,89	17,70	18,66
Fernão Pires	Redondo	Dois Portos	-8,42	23,95	25,76
		Arcos de Valdevez	-0,47	8,84	12,00
	Dois Portos	Redondo	-0,07	12,83	15,95
		Arcos de Valdevez	0,63**	4,99	5,96
	Arcos de Valdevez	Redondo	0,32	8,85	12,72
		Dois Portos	0,62**	4,59	5,08
Loureiro	Arvos de Valdevez	Felgueiras	0,43**	6,79	7,94
	Felgueiras	Arvos de Valdevez	0,64**	4,16	5,25
Moreto	Redondo	Reguengos	-58,56	16,05	21,84
		Redondo	-0,44	9,55	11,89
Touriga Nacional	Dois Portos	Cavadinha	-0,56	5,16	6,38
		Valmor	0,08	9,88	11,71

Tabela 26 - Resultados da validação intra-regional e inter-regional do modelo WF Pintor.

WF Pintor					
Variedade	Origem	Validação	R2 []	MAD (dia)	RMSE (dia)
Chasselas	Arcos de Valdevez	Dois Portos	-4,48	20,36	22,70
Fernão Pires	Arcos de Valdevez	Dois Portos	-1,96	13,92	16,23

Apenas para o modelo WF Flor, e em apenas quatro circunstâncias, foi possível obter validações com resultados significativos para $p < 0,01$.

Ambos os modelos para a variedade Loureiro foram validados com sucesso. Os modelos para a variedade Fernão Pires, parametrizados com as séries de Arcos de Valdevez e de Dois Portos foram validados em Dois Portos e Arcos de Valdevez respetivamente, mas ambos foram incapazes de prever com sucesso as datas de floração para Redondo.

Estes resultandos indicam que existe uma grande especificidade dos modelos construídos, o que poderá dever-se a liberdade dada ao algoritmo para estimar a totalidade dos parâmetros dos modelos. O elevado número de parâmetros aumenta a especificidade do modelo e diminui a sua robustez. Parker (2011), ao arbitrar um valor fixo para data inicial do modelo ($t_0 = 60$) conseguiu na validação do modelo, explicar até 79% da variabilidade na floração e 84% no pintor.

Esta abordagem permite uma maior portabilidade dos modelos obtidos, mas penaliza a sua eficácia para casos particulares.

5. Mapeamento dos modelos fenológicos

Foram selecionados dois modelos, tendo por base os resultados do capítulo anterior. Assim, escolheu-se o modelo para Loureiro, parametrizado com dados de Felgueiras e validado intra-regionalmente e o modelo para a variedade Fernão Pires, parametrizado com dados de Dois Portos validado inter-regionalmente.

Estes modelos foram implementados na ferramenta ArcGIS onde se simularam as datas de floração dos anos 2008, 2011 e 2014 para a região dos Vinhos Verdes (figura 24) e para Portugal Continental (figura 25) utilizando estes modelos.

Na figura 24, representa-se o modelo WF Flor na Região dos Vinhos Verdes. Nesta figura-se observa-se que em 2008 o período de plena floração ocorre entre DOY 159 e 168 (10 dias), em 2011 ocorre entre 144 e 151 (8 dias) e em 2014 entre 162 e 168 (7 dias).

Observa-se que a Sub-Região de Monção e Melgaço, e a zona Este da Sub-Região do Lima, são os locais onde a floração ocorre mais tardiamente. Os locais mais precoces são as Sub-Regiões do Paiva, Baião, Amarante e Sousa e a zona Oeste da Sub-Região do Lima. Em 2008 a floração iniciou-se na Sub-Região do Lima enquanto em 2014 a floração iniciou-se nas sub-regiões do Norte dos Vinhos Verdes.

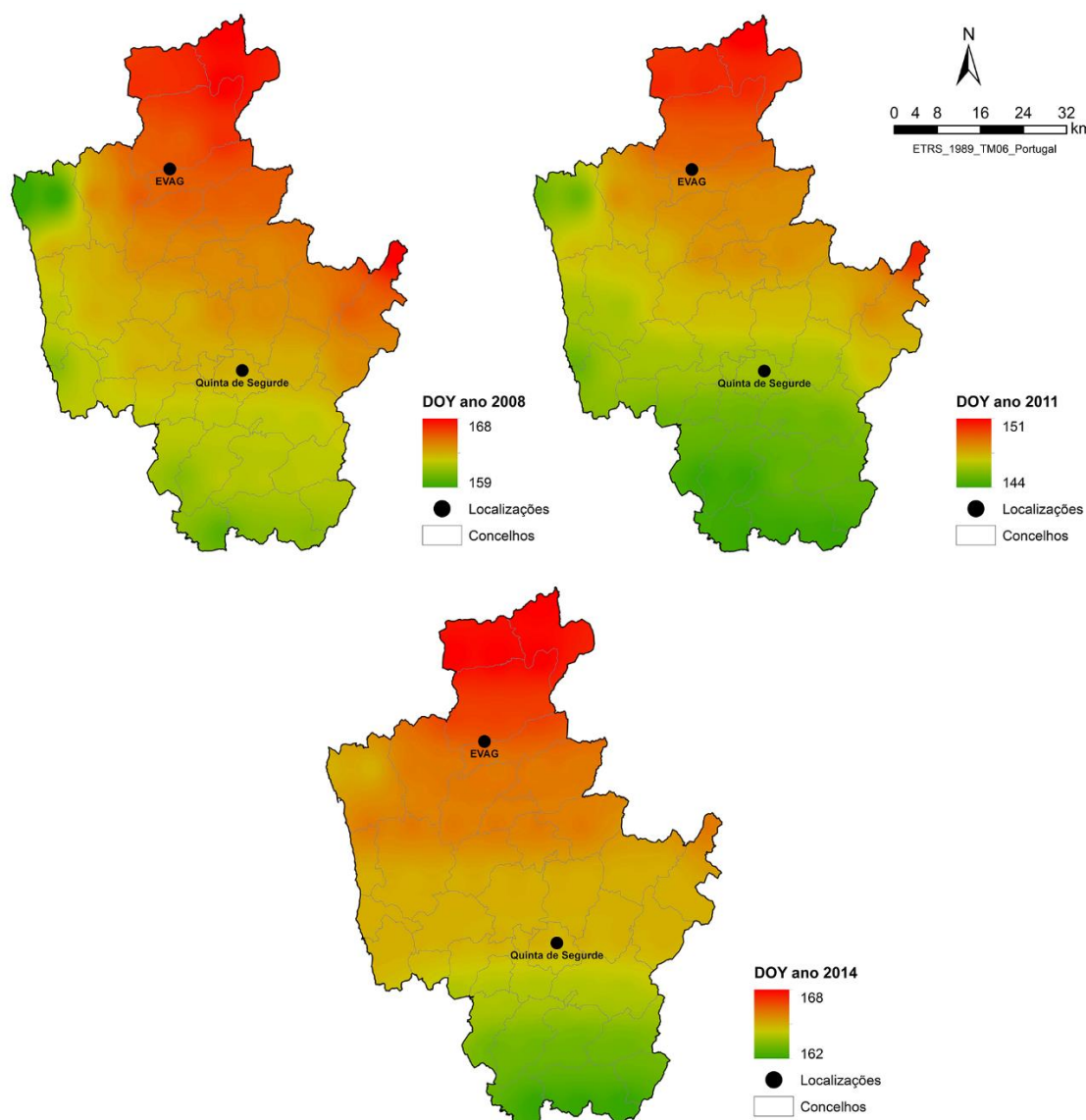


Figura 24 - Mapa da data de floração para a variedade Loureiro na região dos Vinhos Verdes para os anos 2008, 2011 e 2014.

Na figura 25 representa-se a data estimada da plena floração, para o modelo WF Fernão Pires em Portugal Continental. A data mais precoce em que são atingidas as necessidades térmicas para a floração, ao longo dos três anos apresentados, varia entre 126 e 128 DOY e a data mais tardia varia entre 166 e 175 DOY.

Este tipo de ferramenta pode ser utilizada no apoio à tomada de decisão para, por exemplo, escolha de novas variedades. Com este tipo de indicadores é possível antecipar o risco de uma variedade estar exposta a geadas tardias, ou então de não conseguir acumular as unidades de frio e de calor necessárias para completar o seu desenvolvimento.

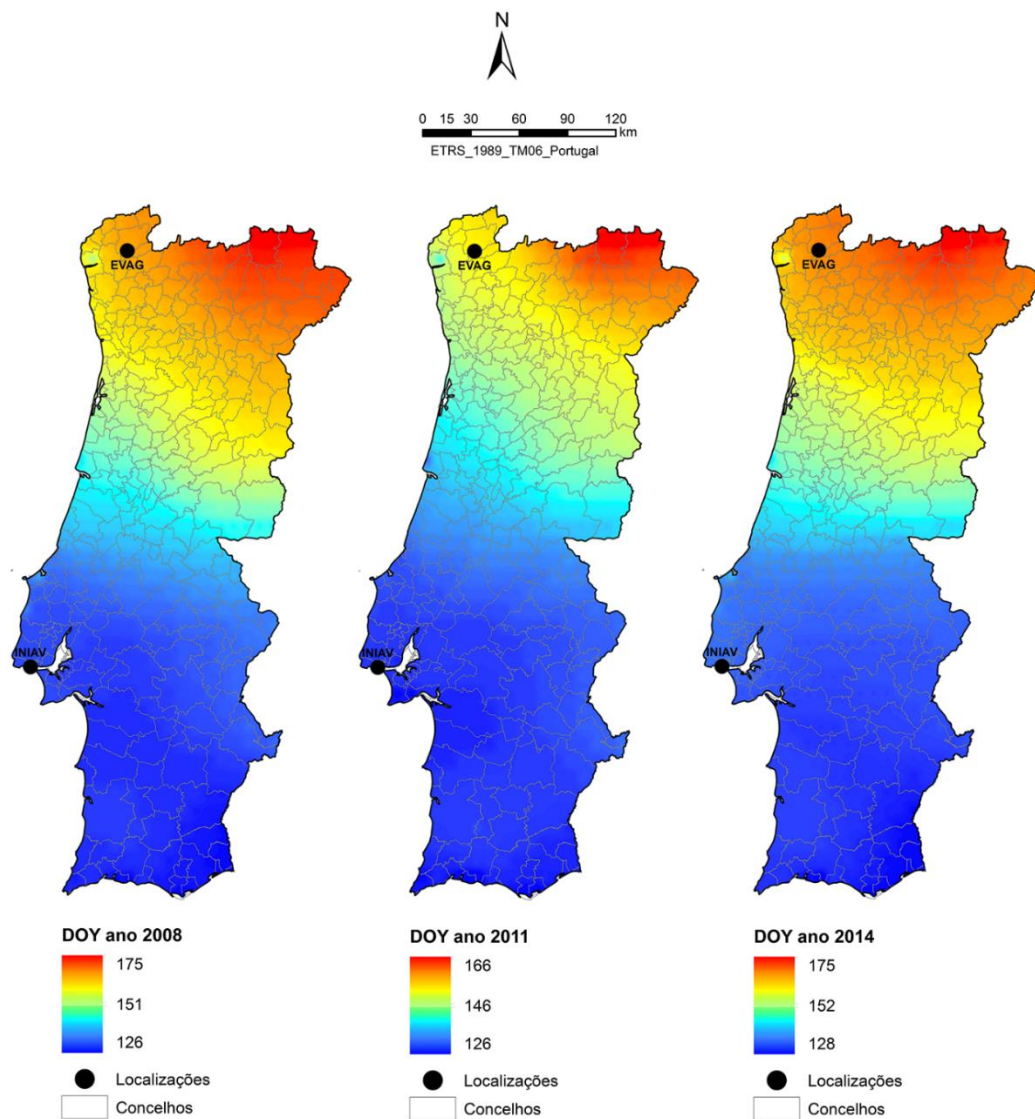


Figura 25 - Mapa da data de floração para a variedade de Fernão Pires em Portugal Continental para os anos 2008, 2011 e 2014.

V. Conclusões e perspetivas

Neste trabalho foram construídos com sucesso 116 modelos fenológicos com significância estatística. Os modelos construídos abrangem os estados fenológicos abrolhamento, floração, pintor e maturação e estão adaptados às condições locais e varietais, o que significa que conseguem explicar a variabilidade do comportamento da videira de forma superior.

Os resultados obtidos permitiram avaliar o processo estatístico utilizado na parametrização dos modelos – o modelo SA –, o impacto do microclima local no comportamento das variedades, e as diferentes respostas à temperatura ao nível da variedade.

O modelo térmico proposto, o modelo WangForc, apresenta-se como uma alternativa interessante para o estudo dos parâmetros de desenvolvimento das culturas, no entanto, ao exigir a estimação de uma maior quantidade de parâmetros, dificultam a sua utilização em diferentes locais e ou regiões.

Das duas abordagens à modelação fenológica testadas, os modelos térmicos com e sem a integração da dormência, observou-se que a integração da dormência beneficia significativamente o processo de modelação. Sendo que aumenta em média 13 a 15% a capacidade explicativas dos modelos e diminui em cerca de 2 dias o erro médio. Porém, ao exigir a estimativa de um maior número de parâmetros, estes modelos perdem robustez, dificultando a sua portabilidade.

Por fim, foram mapeadas, com sucesso, as datas de floração para duas variedades, ao nível da região e a nível nacional. Para isto recorreu-se a um GIS, demonstrando-se o potencial da utilização das duas ferramentas, modelos fenológicos e GIS, em simultâneo.

Perspetivas

Fruto dos resultados obtidos neste trabalho surgem várias perspetivas de melhoria e de desenvolvimento sobre o trabalho realizado.

Portugal é um dos países com um maior conjunto de variedades, sendo que a maioria nunca foi estudada do ponto de vista da modelação fenológica, seria por isso importante dar continuidade ao trabalho realizado e modelar outras variedades, assim como parametrizar as variedades já modeladas para outros locais.

Propõe-se ainda a melhoria dos modelos construídos, limitando o processo de parametrização a intervalos com significado fisiológico. Ao limitar o intervalo de busca do SA é esperado uma maior qualidade dos resultados. A melhoria dos resultados pode

também ser explorada com o recurso a outros algoritmos de estimação de parâmetros, como por exemplo os algoritmos genéticos ou as redes neuronais. A integração de outros parâmetros ambientais também será fundamental para aumentar a qualidade dos modelos construídos, pois a temperatura é incapaz de explicar a totalidade da variabilidade observada.

Propõe-se ainda a construção de uma ferramenta on-line onde o modelos construídos, implementados num GIS, apresente em tempo real a estimativa atual e futura do desenvolvimento da videira.

VI. Bibliografia

- Anderson, Martha C., J. M. Norman, John R. Mecikalski, Ryan D. Torn, William P. Kustas, and Jeffrey B. Basara. 2004. "A Multiscale Remote Sensing Model for Disaggregating Regional Fluxes to Micrometeorological Scales." *Journal of Hydrometeorology* 5 (2): 343–63. doi:10.1175/1525-7541(2004)005<0343:AMRSMF>2.0.CO;2.
- Arroyo-García, R., L. Ruiz-García, L. Bolling, R. Ocete, M. a. López, C. Arnold, a. Ergul, et al. 2006. "Multiple Origins of Cultivated Grapevine (*Vitis Vinifera* L. Ssp. *Sativa*) Based on Chloroplast DNA Polymorphisms." *Molecular Ecology* 15 (12): 3707–14. doi:10.1111/j.1365-294X.2006.03049.x.
- Baggiolini, M., and M. Baillod. 1993. "Les Stades Repères de La Vigne." *Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture et Horticulture* 25: 7–9.
- Baggiolini, Mario. 1952. *Stades Repères de L'abricotier*.
- Behmann, Jan, Anne-Katrin Mahlein, Till Rumpf, Christoph Römer, and Lutz Plümer. 2014. "A Review of Advanced Machine Learning Methods for the Detection of Biotic Stress in Precision Crop Protection." *Precision Agriculture*, 239–60. doi:10.1007/s11119-014-9372-7.
- Berjón, a. J., V. E. Cachorro, P. J. Zarco-Tejada, and a. de Frutos. 2013. "Retrieval of Biophysical Vegetation Parameters Using Simultaneous Inversion of High Resolution Remote Sensing Imagery Constrained by a Vegetation Index." *Precision Agriculture* 14 (5): 541–57. doi:10.1007/s11119-013-9315-8.
- Bhattacharya, B. K., K. Mallick, N. K. Patel, and J. S. Parihar. 2010. "Regional Clear Sky Evapotranspiration over Agricultural Land Using Remote Sensing Data from Indian Geostationary Meteorological Satellite." *Journal of Hydrology* 387 (1-2). Elsevier B.V.: 65–80. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.03.030.
- Bisson, Linda F, Andrew L Waterhouse, Susan E Ebeler, M Andrew Walker, and James T Lapsley. 2002. "The Present and Future of the International Wine Industry." *Nature* 418 (6898): 696–99. doi:10.1038/nature01018.
- Brown, Peter D., Thomas a. Cochrane, and Thomas D. Krom. 2010. "Optimal on-Farm Irrigation Scheduling with a Seasonal Water Limit Using Simulated Annealing." *Agricultural Water Management* 97 (6). Elsevier B.V.: 892–900. doi:10.1016/j.agwat.2010.01.020.
- Cannell, M G R, and R I Smith. 1983. "Thermal Time, Chill Days and Prediction of Budburst in *Picea Sitchensis*." *Journal of Applied Ecology* 20 (3): 951–63. doi:10.2307/2403139.
- Chai, T., and R. R. Draxler. 2014. "Root Mean Square Error (RMSE) or Mean Absolute Error (MAE)? -Arguments against Avoiding RMSE in the Literature." *Geoscientific Model Development* 7 (3): 1247–50. doi:10.5194/gmd-7-1247-2014.
- Chmielewski, Frank M., Antje Müller, and Ekko Bruns. 2004. "Climate Changes and Trends in Phenology of Fruit Trees and Field Crops in Germany, 1961-2000." *Agricultural and Forest Meteorology* 121: 69–78. doi:10.1016/S0168-1923(03)00161-8.
- Chuine, I. 2000a. "A Unified Model for Budburst of Trees." *Journal of Theoretical Biology* 207 (3): 337–47. doi:10.1006/jtbi.2000.2178.

- Chuine, I. 2000b. "A Unified Model for Budburst of Trees." *Journal of Theoretical Biology* 207 (3): 337–47. doi:10.1006/jtbi.2000.2178.
- Chuine, I., P. Cour P, and Rousseau D. 1998. "Fitting Models Predicting Dates of Flowering of Temperate-Zone Trees Using Simulated Annealing." *Plant, Cell and Environment* 21 (5): 455–66. doi:10.1046/j.1365-3040.1998.00299.x.
- Chuine, I. Cour P, Rousseau D. 1999. "Selecting Models to Predict the Timing of Flowering of Temperate Trees: Implications for Tree Phenology Modelling." *Plant, Cell and Environment* 22 (1): 1–13. doi:10.1046/j.1365-3040.1999.00395.x.
- Chuine, I., P. Yiou, N. Viovy, B. Seguin, V. Daux, and E. Ladurie. 2004. "Grape Ripening as a Past Climate Indicator." *Nature* 432: 289. doi:10.1029/2003RG000143.
- Chuine, I. 2013. "PMP 5.5 User Guide."
- Coombe, B G. 1995. "Adoption of a System for Identifying Grapevine Growth Stages," no. 1994: 104–10.
- Crimmins, Michael A, and Theresa M Crimmins. 2008. "Monitoring Plant Phenology Using Digital Repeat Photography." *Environmental Management* 41 (6): 949–58. doi:10.1007/s00267-008-9086-6.
- Cristóbal, J., R. Poyatos, M. Ninyerola, P. Llorens, and X. Pons. 2011. "Combining Remote Sensing and GIS Climate Modelling to Estimate Daily Forest Evapotranspiration in a Mediterranean Mountain Area." *Hydrology and Earth System Sciences* 15 (5): 1563–75. doi:10.5194/hess-15-1563-2011.
- Cruz Blanco, Maria. 2014. "New Techniques for Determining Reference Evapotraspiration." UNiversidad D Córdoba.
- Cunha, Mário, Helena Ribeiro, Paulo Costa, and Ilda Abreu. 2014. "A Comparative Study of Vineyard Phenology and Pollen Metrics Extracted from Airborne Pollen Time Series." *Aerobiologia* 31 (1): 45–56. doi:10.1007/s10453-014-9345-3.
- Eichhorn, W. K., and D. H. Lorenz. 1997. "Phönologische Entwicklungsstadien Der Rebe." *Nachrichtenblatt Des Deutschen Pflanzenschutzdienstes (Braunschweig)*, no. 29: 119–20.
- Fila, Gianni, Massimo Gardiman, Paolo Belvini, Franco Meggio, and Andrea Pitacco. 2014. "A Comparison of Different Modelling Solutions for Studying Grapevine Phenology under Present and Future Climate Scenarios." *Agricultural and Forest Meteorology* 195-196 (SEPTEMBER). Elsevier B.V.: 192–205. doi:10.1016/j.agrformet.2014.05.011.
- Filella, Josep. 2001. "Responses to a Warming World." *Science Magazine*.
- Fu, Yongshuo H., Matteo Campioli, Marcel Van Oijen, Gaby Deckmyn, and Ivan a. Janssens. 2012. "Bayesian Comparison of Six Different Temperature-Based Budburst Models for Four Temperate Tree Species." *Ecological Modelling* 230. Elsevier B.V.: 92–100. doi:10.1016/j.ecolmodel.2012.01.010.
- Georgiou, P. E., and D. M. Papamichail. 2008. "Optimization Model of an Irrigation Reservoir for Water Allocation and Crop Planning under Various Weather Conditions." *Irrigation Science* 26 (6): 487–504. doi:10.1007/s00271-008-0110-7.
- Greer, Dennis H., and Mark M. Weedon. 2012. "Modelling Photosynthetic Responses to Temperature of Grapevine (*Vitis Vinifera* Cv. Semillon) Leaves on Vines Grown in a Hot

- Climate.” *Plant, Cell and Environment* 35 (6): 1050–64. doi:10.1111/j.1365-3040.2011.02471.x.
- Group, Air Quality. 2007. “Towards a MSG-Based Operational Method for Actual Evaporation for Savannah Regions in West Africa,” no. June: 1–8.
- Hänninen, H. 1990. “Modelling Bud Dormancy Release in Trees from Cool and Temperate Regions.” *Acta Forestalia Fennica*.
- Hanninen, Heikki. 1987. “Effects of Temperature on Dormancy Release in Woody Plants: Implications of Prevealing Models.” *Silva Fennica*.
- Hellman W. Edward. 2003. *Oregon Viticulture*.
- Horvath, David P., James V. Anderson, Wun S. Chao, and Michael E. Foley. 2003. “Knowing When to Grow: Signals Regulating Bud Dormancy.” *Trends in Plant Science*. doi:10.1016/j.tplants.2003.09.013.
- Hunter, Alison F, and Martin J Lechowicz. 1992. “Predicting the Timing of Budburst in Temperate Trees.” *Journal of Applied Ecology* 29 (3): 597–604. doi:10.2307/2404467.
- Kliewer, W. Mark, and Abbas Soleimani. 1972. “Effect of Chilling on Budbreak in ‘Thompson Seedless’ and ‘Carignane’ Grapevines.” *Am. J. Enol. Vitic.* 23 (1): 31–34. <http://www.ajevonline.org/content/23/1/31.abstract>.
- Kobayashi, K. D., and Fuchigami and English M.D. 1982. “Modelling Temperature Requirements for Rest Development in *Cornus Sericea*.” *Journal of American Society of Horticultural Science*, no. 107: 914–18.
- Kramer, Koen. 1994. “Selecting a Model to Predict the Onset of Growth of *Fagus Sylvatica*.” *Journal of Applied Ecology* 31 (1): 172–81. doi:10.2307/2404609.
- LANDSBERG, J. J. 1974. “Apple Fruit Bud Development and Growth; Analysis and an Empirical Model.” *Ann. Bot.* 38 (5): 1013–23. <http://aob.oxfordjournals.org/content/38/5/1013>.
- Lang, G.A., J.D. Early, G.C. Martin, and R.L. Darnell. 1987. “Endo-, Para-, and Ecodormancy: Physiological Terminology and Classification for Dormancy Research.” *HortScience (USA)*. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8739490>.
- Lavee, S., and P. May. 1997. “Dormancy of Grapevine Buds - Facts and Speculation.” *Australian Journal of Grape and Wine Research* 3 (1): 31–46. doi:10.1111/j.1755-0238.1997.tb00114.x.
- Logan, J, D E Deyton, and D W Lockwood. 1990. “Using a Chill Unit/growing Degree Hour Model to Assess Spring Freeze Risks for ‘Redhaven’ Peach Trees.” *HortScience* 25 (11): 1382–84. citeulike-article-id:7217002.
- Londo, Jason P., and Lynn M. Johnson. 2014. “Variation in the Chilling Requirement and Budburst Rate of Wild *Vitis* Species.” *Environmental and Experimental Botany*. doi:10.1016/j.envexpbot.2013.12.012.
- Lopes, J, J.E. Eiras-Dias, F Abreu, P Clímaco, J P Cunha, and J Silvestre. 2008. “Thermal Requirements , Duration and Precocity of Phenological Stages of Grapevine Cultivars of the Portuguese Collection.” *Ciência E Técnica Vitivinícola* 23 (1): 61–71.

- Lorenz, D.H., K.W. Eichhorn, H. Bleiholder, R. Klose, U. Meier, and E. Weber. 1995. "Growth Stages of the Grapevine: Phenological Growth Stages of the Grapevine (*Vitis Vinifera* L. Ssp. *vinifera*)—Codes and Descriptions according to the Extended BBCH Scale." *Australian Journal of Grape and Wine Research* 1 (2): 100–103. doi:10.1111/j.1755-0238.1995.tb00085.x.
- M. S. Buttrose. 1969. "Fruitfulness in Grapevines: Effects of Light Intensity and Temperature." *Botanical Gazette* 130 (3): 166–73. <http://www.jstor.org/discover/10.2307/2474141?sid=21105585167821&uid=3738880&uid=387196271&uid=62&uid=67&uid=387195851&uid=3&uid=2>.
- Magalhães, Nuno. 2011. *Tratado de Viticultura - A Videira, A Vinha E O "Terroir."* Chaves Ferreira - Publicações, S.A.
- Malheiro, Aureliano C., Rita Campos, Helder Fraga, José Eiras-Dias, José Silvestre, and João a. Santos. 2013. "Winegrape Phenology and Temperature Relationships in the Lisbon Wine Region, Portugal." *Journal International Des Sciences de La Vigne et Du Vin* 47 (4): 287–99.
- Mariani, Luigi, Roberta Alilla, Gabriele Cola, Giovanni Dal Monte, Chiara Epifani, Giovanna Puppi, Osvaldo Failla, and Failla Osvaldo. 2013. "IPHEN--a Real-Time Network for Phenological Monitoring and Modelling in Italy." *International Journal of Biometeorology* 57 (6): 881–93. doi:10.1007/s00484-012-0615-x.
- Mayer, D.G., J.a. Belward, and K. Burrage. 1998. "Tabu Search Not an Optimal Choice for Models of Agricultural Systems." *Agricultural Systems* 58 (2): 243–51. doi:10.1016/S0308-521X(98)00064-X.
- Menzel, Annette. 2002. "Phenology: Its Importance To the Global Change Community." *Climatic Change*, 379–85. doi:10.1023/A:1016125215496.
- Menzel, Annette, and Peter Fabian. 1999. "Growing Season Extended in Europe." *Nature* 397 (6721): 659. doi:10.1038/17709.
- Metropolis, N., A. W. Rosenbluth, M. Rosenbluth, and E. Teller. 1953. "Equation of State Calculations by Fast Computing Machines." *J. Chem. Phys.* 21: 1087–92.
- Moncur, M. W., K. Rattigan, D. H. Mackenzie, and G. N. Mc INTYRE. 1989. "Base Temperatures for Budbreak and Leaf Appearance of Grapevines." *Am. J. Enol. Vitic.* 40 (1): 21–26. <http://www.ajevonline.org/content/40/1/21.abstract>.
- Montgomery, Douglas C., Elizabeth A. Peck, and G. Geoffrey Vining. 2012. *Introduction to Linear Regression Analysis*.
- Mullins, Michael G., Alain Bouquet, and Larry E. Williams. 1992. *Biology of the Grapevine..*
- Murray, M.B., M.G.R. Cannell, and R.I. Smith. 1989. "Date of Budburst of Fifteen Tree Species in Britain Following Climatic Warming." *Journal of Applied Ecology* 26: 693–700. doi:10.2307/2404093.
- Nendel, Claas. 2010. "Grapevine Bud Break Prediction for Cool Winter Climates." *International Journal of Biometeorology* 54 (3): 231–41. doi:10.1007/s00484-009-0274-8.
- Oliveira, Manuel. 1998. "Calculation of Budbreak and Flowering Base Temperatures for *Vitis Vinifera* Cv. Touriga Francesa in the Douro Region of Portugal." *American Journal of Enology and Viticulture* 49 (1). American Society for Enology and Viticulture: 74–78.

- Parker, A. and I Chuine. 2011. "The Timing of Phenology Is a Major Quality Factor in Viticulture," 206–16.
- Parker, a. K., I. G. De Cortázar-Atauri, C. Van Leeuwen, and I. Chuine. 2011. "General Phenological Model to Characterise the Timing of Flowering and Veraison of *Vitis Vinifera* L." *Australian Journal of Grape and Wine Research* 17 (2): 206–16. doi:10.1111/j.1755-0238.2011.00140.x.
- Parker, Amber, Inaki Garcia de Cortázar-Atauri, Isabelle Chuine, Gérard Barbeau, Benjamin Bois, Jean-Michel Boursiquot, Jean-Yves Cahurel, et al. 2013. "Classification of Varieties for Their Timing of Flowering and Veraison Using a Modelling Approach: A Case Study for the Grapevine Species *Vitis Vinifera* L." *Agricultural and Forest Meteorology* 180 (October): 249–64. doi:10.1016/j.agrformet.2013.06.005.
- Pereira, M. José. 1994. "Coeficiente Angular. Um Parâmetro de Avaliação Da Precocidade de Maturação." Instituto Politécnico de Castelo Branco.
- Phenology, Ground-based Vineyard. 2010. "A Comparative Study of Satellite and," 68–77. doi:10.3233/978-1-60750-494-8-68.
- Pôças, Isabel, Teresa a. Paço, Mário Cunha, José a. Andrade, José Silvestre, Adélia Sousa, Francisco L. Santos, Luís S. Pereira, and Richard G. Allen. 2014. "Satellite-Based Evapotranspiration of a Super-Intensive Olive Orchard: Application of METRIC Algorithms." *Biosystems Engineering* 8: 1–13. doi:10.1016/j.biosystemseng.2014.06.019.
- Pouget. 1988. "Le Debourrement Des Bourgeons de La Vigne: Methode de Prevision et Principes D'établissement D'une Echelle de Precocite de Debourrement." *Connaissance de La Vigne et Du Vin*, no. 2 (October).
- Réaumur, M. 1735. "Observations Du Thermomètre Faites Á Paris Pendant L'année 1735 Comparées Avec Celles Qui Ont Été Faites Sous La Ligne Á L' Ile de France, Á Alger et En Quelques-Unes de Nos 'Iles de l'Amérique." *Académie Royale Des Sciences*.
- Reed, Bradley C., Jesslyn F. Brown, Darrel VanderZee, Thomas R. Loveland, James W. Merchant, and Donald O. Ohlen. 1994. "Measuring Phenological Variability from Satellite Imagery." *Journal of Vegetation Science* 5 (5): 703–14. doi:10.2307/3235884.
- Ribeiro, Helena. 2008. "Previsão Da Fenologia E Produtividade Da Olea Europaea L ." Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- Ribeiro, Helena, Mario Cunha, and Ilda Abreu. 2006. "Comparison of Classical Models for Evaluating the Heat Requirements of Olive (*Olea Europaea* L.) in Portugal." *Journal of Integrative Plant Biology* 48 (6): 664–71. doi:10.1111/j.1744-7909.2006.00269.x.
- Richardson, E. A., S. D. Seeley, and D. R. Walker. 1974. "A Model for Estimating the Completion of Rest for 'Redhaven' and 'Elberta' Peach Trees." *HortScience*, no. 9: 331–32.
- Robertson, G. W. 1968. "A Biometeorological Time Scale for a Cereal Crop Involving Day and Night Temperatures and Photoperiod." *International Journal of Biometeorology* 12 (3): 191–223. doi:10.1007/BF01553422.
- Rodrigues, Arlete, Andre R S Marçal, and Mário Cunha. 2012. "Monitoring Vegetation Dynamics Inferred by Satellite Data Using the PhenoSat Tool." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, no. APRIL. doi:10.1109/TGRS.2012.2223475.

- Ruml, Mirjana, and Todor Vulic. 2005. "Importance of Phenological Observations and Predictions in Agriculture." *Journal of Agricultural Sciences, Belgrade* 50 (2): 217–25. doi:10.2298/JAS0502217R.
- Sarvas, Risto. 1972. *Investigations on the Annual Cycle of Development of Forest Trees: Active Period*.
- Schwartz, Mark D. 2003. *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Edited by Mark D Schwartz. Kluwer Academic Publishers.
- Sparks, T.H., and P.D. Carey. 1995. "The Responses of Species to Climate over Two Centuries: An Analysis of the Marsham Phenological Record, 1736-1947." *Journal of Ecology*. doi:10.2307/2261570.
- Sparks, Tim. n.d. "Robert Marsham's Tricentenary Celebrations Website." <http://www.robertmarsham.co.uk/phenology/>.
- Talbi, El Ghazali. 2009. *Metaheuristics: From Design to Implementation*. *Metaheuristics: From Design to Implementation*. doi:10.1002/9780470496916.
- Thornthwaite, C. 1957. *Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance*. Centerton N.J.: Drexel Institute of Technology Laboratory of Climatology.
- Van Leeuwen, Cornelis, Philippe Friant, Xavier Choné, Olivier Tregoat, Stephanos Koundouras, and Denis Dubourdieu. 2004. "Influence of Climate, Soil, and Cultivar on Terroir." *American Journal of Enology and Viticulture* 55 (3): 207–17.
- Vegis, A. 1964. "Dormancy in Higher Plants." *Annual Review of Plant Physiology*, no. 15: 185–224.
- Vegis, A. 1965. *Ruhezustände Bei Höheren Pflanzen, Induktion, Verlauf Und Beendigung: Übersicht, Terminologie, Allgemeine Probleme*. Edited by Anton Lang. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-50088-6.
- Vivier, Melané a., and Isak S. Pretorius. 2002. "Genetically Tailored Grapevines for the Wine Industry." *Trends in Biotechnology* 20 (11): 472–78. doi:10.1016/S0167-7799(02)02058-9.
- Wan, Yizhen, Heidi R Schwaninger, Angela M Baldo, Joanne a Labate, Gan-Yuan Zhong, and Charles J Simon. 2013. "A Phylogenetic Analysis of the Grape Genus (*Vitis* L.) Reveals Broad Reticulation and Concurrent Diversification during Neogene and Quaternary Climate Change." *BMC Evolutionary Biology* 13 (1). BMC Evolutionary Biology: 141. doi:10.1186/1471-2148-13-141.
- Wang, Enli, and Thomas Engel. 1998. "Simulation of Phenological Development of Wheat Crops." *Agricultural Systems* 58 (1): 1–24. doi:10.1016/S0308-521X(98)00028-6.
- White, M., Kirsten M., Kamel D., Inouye D. Richardson A., Olaf J. O'keefe.. 2009. "Intercomparison, Interpretation, and Assessment of Spring Phenology in North America Estimated from Remote Sensing for 1982-2006." *Global Change Biology* 15 (10): 2335–59. doi:10.1111/j.1365-2486.2009.01910.x.
- Xinyou, Yin, and Martin J. Kropff. 1996. "Use of the Beta Function to Quantify Effects of Photoperiod on Flowering and Leaf Number in Rice." *Agricultural and Forest Meteorology* 81 (3-4): 217–28. doi:10.1016/0168-1923(95)02324-0.

- Yan, Weikai. 1999. "An Equation for Modelling the Temperature Response of Plants Using Only the Cardinal Temperatures." *Annals of Botany* 84 (1998): 607–14. doi:10.1006/anbo.1999.0955.
- Yin, Xinyou, Martin J Kropff, Graham McLaren, and Romeo M Visperas. 1995. "A Nonlinear Model for Crop Development as a Function of Temperature." *Agricultural and Forest Meteorology* 77 (95): 1–16. doi:10.1016/0168-1923(95)02236-Q.
- Zadocks, J. Chang, T, and Konzak C. 1974. "A Decimal Code for the Growth Stages of Cereals." *Weed Research* 14 (6): 415–21. doi:10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x.